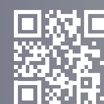
ТОМ 2, №2, 2023 eISSN 2949-1835
РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Современные тенденции
в строительстве, градостроительстве и планировке территорий

Строительные конструкции, здания и сооружения
Основания и фундаменты, подземные сооружения
Строительные материалы и изделия
Технология и организация строительства
Строительная механика
Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов
Управление жизненным циклом объектов строительства



www.stsg-donstu.ru
DOI 10.23947/2949-1835



Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий

Рецензируемый научно-практический журнал (издается с 2022 года)

eISSN 2949-1835
DOI: 10.23947/2949-1835

Том 2, № 2, 2023

Рецензируемый научно-практический журнал создан в целях информирования читательской аудитории о новейших достижениях, тенденциях и перспективах в области строительства, архитектуры, градостроительства и смежных научных направлений. Издание является платформой для научно образовательного сотрудничества исследователей и ученых, вовлеченных в строительную сферу

В журнале публикуются научные статьи по следующим специальностям:
Строительные конструкции, здания и сооружения;
Основания и фундаменты, подземные сооружения;
Строительные материалы и изделия;
Технология и организация строительства;
Строительная механика;
Градостроительство, планировка сельских населенных пунктов;
Управление жизненным циклом объектов строительства.

Индексация:	РИНЦ, CyberLeninka, CrossRef
Наименование органа, зарегистрировавшего издание	*Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ № ФС77-83923 от 16 сентября 2022 г., выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций*
Учредитель и издатель	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ).
Периодичность	4 выпуска в год
Адрес учредителя и издателя	344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1.
E-mail	sovtendstr@gmail.com
Телефон	+7 (863) 2–738–372
Сайт	https://www.stsg-donstu.ru
Дата выхода в свет	30.06.2023





Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning

Peer-reviewed scientific and practical journal (published since 2022)

eISSN 2949-1835
DOI: 10.23947/2949-1835

Vol. 2, no. 2, 2023

A peer-reviewed scientific and practical journal designed to inform the readers about the latest advancements, trends and prospects in the field of construction, architecture, urban planning and adjacent scientific fields. The journal serves a platform for scientific and educational cooperation of researchers and scholars engaged in the field of construction.

The journal publishes articles covering the results of the cutting-edge research in the following areas:

Building constructions, buildings and engineering structures;

Bases and foundations, subsurface structures;

Construction materials and products;

Technology and organization of construction;

Structural mechanics;

Urban planning, rural settlements planning;

Facilities life cycle management.

Indexing:	RSCI, CyberLeninka, CrossRef
Name of the body that registered the publication	The journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications on September 16, 2022 (Certificate of Registration ЭЛ № ФС 77–83923).
Founder and publisher	Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Don State Technical University (DSTU).
Periodicity	Quarterly (4 issues per year)
Address of the founder and publisher	Gagarin Sq. 1, Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation.
E-mail	sovtendstr@gmail.com
Telephone	+7 (863) 2–738–372
Website	https://www.stsg-donstu.ru
Date of publication	30.06.2023



Editorial Board

СОДЕРЖАНИЕ





УДК 69:004

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-6-18



Геологические опасности жилищной застройки участка плиоценовой террасы города Ростова-на-Дону

А.В. Гридневский ✉

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

✉ a328@ya.ru

Аннотация

Введение. Промышленное и гражданское строительство в г. Ростове-на-Дону ведется в условиях ряда опасных геологических условий (просадочные деформации грунтов, оползни, подтопления, суффозии). Застройка новых районов в городе всегда приводит к подъему уровней грунтовых вод. Условия строительства на плиоценовой террасе в восточной части города характеризуются высоким риском подтопления из-за малой глубины залегания подземных вод, низких значений гидравлических градиентов и водопроницаемости грунтов. Сведения об актуальном режиме уровня грунтовых вод отсутствуют в печати. Целью работы является исследование факторов, определяющих баланс подземных вод, и выработка рекомендаций по мониторингу геофильтрации для сдерживания подтопления на основе материалов о геологическом строении и гидрогеологических условиях территории, а также численного гидрогеологического моделирования.

Материалы и методы. Геологическое строение и гидрогеологические условия территории анализировались по опубликованным текстовым и графическим материалам, а также результатам инженерно-геологических изысканий. Анализ геометрических параметров водоносных горизонтов, визуализация пространственных данных выполнены средствами геоинформационной системы QGIS. Для построения и анализа численных моделей геофильтрации использован программный продукт Visual Modflow компании Aquaveo.

Результаты исследования. На рассматриваемой территории в течение многих лет формировался природно-техногенный режим геофильтрации. Исследования разработанной численной гидрогеологической модели указывают на высокий риск локального подтопления, а также определяют условия распространения его на всю территорию. Оценена роль овражно-балочной сети, дренирующей водоносный горизонт и сдерживающей подтопление. Для контроля баланса подземных вод территории и уточнения параметров водоносных горизонтов разработана схема размещения сети наблюдательных гидрогеологических скважин.

Обсуждение и заключения. Сложившийся баланс подземных вод имеет хрупкое равновесие. Застройка территории с большой вероятностью будет сопровождаться дополнительной инфильтрацией техногенных вод и приведет к подтоплению. В проекте застройки должен быть предусмотрен мониторинг процесса геофильтрации и решения по дренажу грунтовых вод.

Ключевые слова: численное моделирование, геофильтрация, просадочность, подтопление, мониторинг, геологические опасности.

Благодарности. Автор выражает признательность Фоминовой Н. Н. за помощь в редактировании рукописи; благодарность Гридневскому В. Л. за помощь в работе с программным продуктом.

Для цитирования. Гридневский А.В. Геологические опасности жилищной застройки участка плиоценовой террасы города Ростова-на-Дону. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(2):6–18. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-6-18

Original article

Geological Hazards of Housing Development of a Pliocene Terrace Land Plot in the City of Rostov-on-Don

Alexander V Gridnevsky

Don State Technical University, 1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, Russian Federation

a328@ya.ru

Abstract

Introduction. In Rostov-on-Don the industrial and civil construction is carried out under a number of geological hazards: soils subsiding deformations, landslides, underfloodings, suffusions. Building up the new urban districts has always led to the groundwater surge. The Pliocene terrace building conditions in the eastern part of the city are characterised by the high risk of underflooding due to the shallow groundwater, low hydraulic gradients and water permeability of soils. The data on the present state of the groundwater level is not published in the media. Based on the materials on the territory geological structure and hydrogeological conditions, as well as on the numerical hydrogeological modeling, the present paper aims to investigate the groundwater balance determining factors and to develop the geofiltration monitoring recommendations for constraining the underflooding.

Materials and methods. The geological structure and hydrogeological conditions of the territory were analysed using the published reading and graphical materials, as well as the engineering and geological survey results. The aquifers' geometrical parameters analysis and the spatial data visualisation were made by means of the QGIS geographic information system. For creating and analysing the numerical geofiltration models, the Visual Modflow software product of Aquaveo company was used.

Research results. The natural and technogenic geofiltration state of the territory under investigation had been forming for many years. The study of the designed numerical hydrogeological model indicates on the high risk of local underflooding as well as defines the conditions of its spreading throughout the entire territory. The role of the ravine-gully system that drains the aquifer and constrains the underflooding has been assessed. To control the territory groundwater balance and to specify the aquifers' parameters, the layout of the observational hydrogeological wells network has been developed.

Discussion and conclusion. The existing groundwater balance is vulnerable. Building up the territory is highly likely to cause additional infiltration of technogenic water and to lead to underflooding. The territory development project should envisage the geofiltration process monitoring and groundwater draining solutions.

Keywords: numerical modeling, geofiltration, subsidence capacity, underflooding, monitoring, geological hazards.

Acknowledgements. The author expresses his appreciation to N. N. Fominova for assistance in editing the manuscript and his gratitude to V. L. Gridnevsky for the help in working with the software.

For citation: Gridnevsky AV. Geological Hazards of Housing Development of a Pliocene Terrace Land Plot in the City of Rostov-on-Don. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(2):6–18. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-6-18

Введение. Город Ростов-на-Дону расположен в пределах южного склона Дон-Тузловского водораздела, поверхность которого осложнена овражно-балочным рельефом. Застройка территории ведется преимущественно на лёссовых просадочных грунтах и сопровождается рядом опасных геологических процессов: подтопление, просадочные деформации грунтов, образование оползней, оврагов, развитие суффозии. Проблема нарушения режима уровней грунтовых вод (УГВ) в городе является определяющей, так как влияет на развитие указанных опасных процессов.

Неуклонный рост УГВ в населенных пунктах зависит от геологических предпосылок и техногенных причин. Последние следует рассматривать как основные, поскольку их проявление зависит от нашей жизнедеятельности. Ряд примеров указывает на развитие подтопления как в районах крайнего севера, так и в аридной зоне по самым разным сценариям: подпор водохранилищ [1, 2], влияние ирригационных систем [3, 4], паводки крупных рек [5, 23]. Подтопление происходит в районах гидрозолоотвалов ТЭЦ [6], при создании прудов на реках [7], при колебаниях уровня моря [8, 9]. Города потребляют много воды для целей водоснабжения населения. Она теряется в водонесущих коммуникациях и провоцирует подтопление [10–14], негативный вклад вносит аномальная инфильтрация атмосферных осадков [15]. Строительство также порождает ряд негативных эффектов, провоцирующих подтопление. Например, в водоносных горизонтах возникает барражный эффект при искусственном уплотнении грунта из-за отсыпки грунтовых отвалов, строительства транспортных переходов [17–19]. Городская среда

теряет устойчивость развития, если взаимодействие с подземными водами приводит к негативным результатам [16]. Наблюдения и анализ трансформации режима грунтовых вод в городской среде выполняются с применением численного моделирования [15, 16, 23, 26].

Подтопление города Ростова-на-Дону описано в работах [20–22]. Среди причин подъема УГВ первое место занимают потери из сети водонесущих коммуникаций. Ущерб проявляется в многочисленных деформациях зданий и сооружений, оползневых смещениях грунтов. При повышении УГВ изменяется влажность грунтов и их деформационно-прочностные свойства. Для сдерживания этих процессов необходима система мониторинга режима подземных вод. Ее создание актуально как для застроенных, так и для вновь осваиваемых территорий. Примером является высокий риск развития подтопления при жилищном строительстве на плиоценовой террасе реки Дон в восточной части г. Ростова-на-Дону на территории бывшего аэропорта (далее — Аэропорта). Составной частью мониторинга является имитационное численное моделирование динамики подземных вод, позволяющее исследовать зависимость режима геофильтрации от природно-техногенных факторов и получать информацию для выработки инженерных решений по сдерживанию опасных геологических процессов.

Целью статьи является анализ сложившихся инженерно-геологических условий территории Аэропорта, гидродинамического режима подземных вод, построение численной модели геофильтрации, исследование с ее помощью факторов, провоцирующих подтопление, и выработка рекомендаций по мониторингу режима водоносного горизонта и сдерживания подтопления.

Материалы и методы. Анализ инженерно-геологических условий выполнен по материалам изысканий прошлых лет в городе Ростове-на-Дону с использованием опубликованных данных, государственных геологических карт и численного моделирования геофильтрации с применением программного продукта Visual Modflow компании Aquaveo, а также инструмента обработки картографических материалов QGIS 3.12.

Опасные геологические процессы в Ростове-на-Дону проявляются в подъеме уровней грунтовых вод, суффозии, склоновых процессах, деформациях лессовых грунтов при замачивании. Все это приводит к нарушениям конструкций зданий и сооружений. Подтопление в городе закономерно формировалось вслед за развитием водонесущей инфраструктуры. Так в 1911 году в водопроводную сеть закачивалось 20 тыс. м^3/сут, в 1960 году — 120 тыс. м^3/сут, в 2013–2017 годы среднегодовая подача воды достигла 470 тыс. м^3/сут. К 2018 году в водопровод поступало 434 тыс. м^3/сут (включая подачу 27 тыс. м^3/сут для г. Батайск и г. Аксай), объем потерь в сетях составлял 36 %.

К 2018 году очистные сооружения канализации имели протяженность 1400 км и принимали на очистку из города 175 тыс. м^3/сут. Часть воды находилась в замкнутом цикле водооборота предприятий. Объемы водоотведения не превышали 50 % суммарного потребления воды. Можно полагать, что значительный объем воды инфильтруется в грунт.

Изменения в режиме водоносных горизонтов происходили в зависимости от сложившихся гидрогеологических условий, интенсивности и объема инфильтрации техногенных вод. Процесс подтопления наиболее активно развивался в районах крупных промышленных предприятий, очистных сооружений АО «Ростовводоканал», изношенных участков сетей водоснабжения, водоотведения, теплотрасс, ливневой канализации. В городе существует опыт активной застройки новых районов с 1963 года: Западный жилой массив, Северный жилой массив, жилой массив Александровка, микрорайоны Левенцовский, Суворовский, Красный Аксай, Вересаево. Количество частных потребителей воды увеличилось до 610 тыс. человек, а расчетные объемы подаваемой воды возросли на 122 тыс. м^3/сут. В большей части указанных районов произошло подтопление. По данным режимных наблюдений ОАО «РостовДонТИСИЗ» локальная скорость подъема УГВ составила 0,2–0,5 м/год [21].

Можно сделать вывод о прямой связи водоснабжения, водоотведения и подтопления в городе Ростове-на-Дону. В этом аспекте важно рассмотреть один из проектов новой застройки участка плиоценовой террасы реки Дон в восточной части города на территории Аэропорта. Выбранная территория охватывает 368 га с размещением 2,92 млн. м^2 недвижимости для 66 тыс. жителей. Здесь существует высокий геологический риск подтопления. Рассмотрим его составляющие.

1. Физико-географические условия. Территория застройки расположена в восточной части города, у северного шва плиоценовой террасы реки Дон, и ограничена глубокими речными врезами реки Дон, балок: Кизитериновской, Кобяковской и Пороховой. Она представляет собой водораздельное межбалочное пространство с абсолютными отметками +60–80 м. Овражно-балочная сеть незначительно изменена инженерными сооружениями Аэропорта. Климат умеренно-континентальный, среднемноголетнее количество осадков — 570 мм. Самым теплым месяцем является июль (+23,6 °C), наиболее холодный — январь (–4,2 °C). Часть территории (12 %) имеет искусственное покрытие, что уменьшает инфильтрацию атмосферных осадков и эвапотранспирацию. Постоянными водотоками являются река Дон и ручьи балок Кизитериновской и Пороховой. Основными источниками питания ручьев являются атмосферные осадки и подземные воды. Территория Аэропорта расположена высоко относительно эрозионных врезов (+55 м) и не чувствительна к колебаниям уровня воды (1–2 м) в реке Дон.

2. Геологическое строение. В пределах рассматриваемой площади выделены отложения морского и терригенного происхождения. Самые древние горные породы представлены плотными морскими глинами сарматского региояруса (N_1s_1). Они являются региональным водоупором, залегают нормально, имеют кровлю на абсолютных отметках +16–18 м и мощность 10–15 м. Над глинами расположен комплекс водопроницаемых трещиноватых известняков сарматского региояруса (N_1s_2), переслаивающихся с песчаниками, песками, а также трещиноватыми и пористыми известняками мэотического (N_1m) и понтического региоярусов (N_1p). Кровля водопроницаемых неогеновых отложений расположена субгоризонтально на абсолютных отметках +35 м. Частично она замещена широтным врезом аллювиальных песчано-глинистых отложений хапровской свиты (N_2hp) мощностью до 5 м. Четвертичная толща начинается с эоплейстоценовых красно-бурых, плотных и водонепроницаемых скифских глин (Q_Esk) с кровлей на абсолютных отметках +55–57 м и мощностью 15–20 м. Скифские глины встречаются повсеместно в Ростове-на-Дону за исключением врезов оврагов и балок, где они размыты. Глины вскрыты под всей территорией Аэропорта. Неоплейстоцен-голоценовые отложения представлены эолово-делювиальными суглинками ($vdQ_{II\text{-}IV}$). Мощность четвертичной толщи достигает 30–35 м. В суглинках выделены три погребенные почвы, залегающие с интервалом 2–3 м: лихвинская ($eQ_{III}v$) темно-коричневая, каштанового типа (1,2–1,5 м); микулинская ($eQ_{III}mk$) темно-бурого цвета (1,0–1,3 м); молого-шекснинская ($dQ_{III}ml$), темно-бурая и буровато-серая (0,8–1,3 м). Погребенные почвы — это слабопроницаемые тяжелые суглинки и глины. Кровля самой молодой погребенной почвы расположена на глубине 6,0–6,5 м. Ее сменяют неоплейстоценовые (vdQ_{III}) эолово-делювиальные лёссовидные суглинки. Они представляют опасность для эксплуатации зданий и сооружений, поскольку при замачивании проявляют просадочные деформации.

3. Гидрогеологические условия. В ходе неоген-четвертичной геологической истории на территории проектируемого строительства сформировалась геологическая структура, включающая два водоносных горизонта. Первый является межпластовым и включает морские песчаники, пески и известняки миоцен-плиоцена. Водоупором служат плотные глины сарматского региояруса (N_1s) с абсолютными отметками +14–16 м, кровлей – красно-бурые скифские глины (Q_Esk), с отметками подошвы +37–42 м. Режим водоносного горизонта безнапорный. Большая часть свободной поверхности воды в городе располагается на высоте 20–25 м над уровнем моря. Воды дренируются балками, оврагами, разгружаются в виде источников на отметках +15–20 м.

Второй водоносный горизонт располагается в четвертичных суглинках и является грунтовым. Водоупором для него служат скифские глины, кровля которых имеет пологий рельеф с перепадом абсолютных отметок +53–55 м. Мощность водонасыщенного слоя на водораздельных пространствах составляет 25 м. На склонах балок она уменьшается до 15 м и выклинивается к тальвегам. На территории застройки свободная поверхность подземных вод установилась на абсолютных отметках +65–90 м.

Режим подземных вод определяется несколькими факторами: атмосферными осадками, техногенной инфильтрацией от Аэропорта и примыкающих к территории районов, эвапотранспирацией, а также разгрузкой через борта оврагов и балок: Кобяковской, Пороховой и Кизитериновской.

Поверхность УГВ в пределах застраиваемой территории установилась в 2000 году на глубине 6–7 м и представляла собой куполообразное поднятие, вытянутое в меридиональном направлении, с максимальными отметками (+90 м) в северной части территории Аэропорта и минимальными (+60–70 м) – в южной. Залегающие с востока и запада крупные балки (Кобяковская, Пороховая, Кизитериновская), дренируют водоносный горизонт и определяют морфологию рельефа поверхности УГВ. Рассматриваемая территория три раза включалась в область гидрогеологического картирования Ростова-на-Дону. Поэтому существует возможность оценить динамику водоносного горизонта (рис. 1).

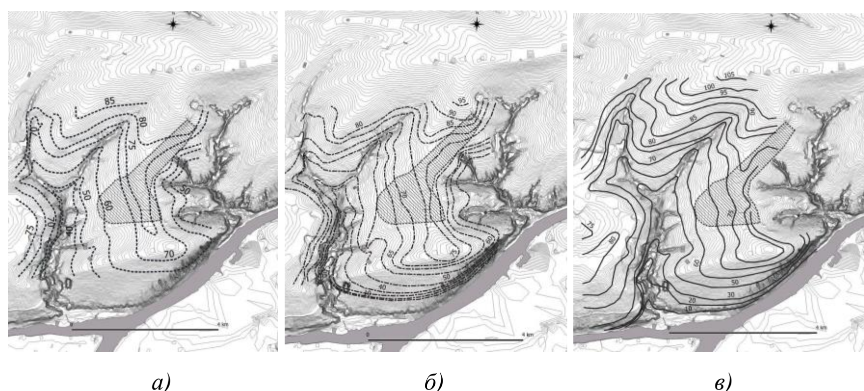


Рис. 1. Гидроизогипсы территории Аэропорта: *а* — в 1975 г.; *б* — в 1988 г.; *в* — в 2000 г.

С 1975 года уровень подземных вод медленно поднимался. Поверхность УГВ представляла собой область с абсолютными отметками +60–75 м, вытянутую с севера на юг вдоль всей территории Аэропорта. С южной стороны область сопрягалась с куполом подтопления (+70 м) в жилом районе Александровка. С севера на территорию Аэропорта поступали грунтовые воды (+80 м) от зоны подтопления завода «Алмаз» [21]. В 1988 году поверхность УГВ с отметками +75 м продвинулась к южной границе Аэропорта и объединилась с куполом грунтовых вод в жилом районе Александровка, также поднявшимся до +75 м. К 2000 году абсолютные отметки поверхности грунтовых вод возросли незначительно. С южной стороны Аэропорта продолжал расширяться обширный купол подтопления (+75 м). В северной части территории уровни воды продолжали повышаться, образуя клинообразный поток с абсолютными отметками УГВ +80–85 м. Таким образом, территория Аэропорта испытывала медленный рост УГВ, преимущественно в северной части.

Особенность инженерно-геологических условий заключается в близости природного УГВ (6–7 м) к поверхности земли, низких гидравлических уклонах потоков и анизотропии фильтрационных свойств лессовых грунтов. Водопроницаемость лессовых грунтов в вертикальном направлении составляет 0,6–0,8 м/сут [10], в горизонтальном — в 5–7 раз меньше, что провоцирует быстрый рост УГВ в виде куполов в местах локальных потерь воды.

Для получения ответов о возможности своевременного обнаружения и мониторинга локального подъема УГВ, а также условий формирования тотального подтопления, разработаны и исследованы численные модели геофильтрации.

Построение модели-1. Для анализа локального подтопления разработана модель, описывающая фрагмент водоносного горизонта. С этой целью рассмотрен безграничный бассейн грунтовых вод, в котором с поверхности земли от локального источника инфильтруется вода. На поверхности водоносного горизонта образуется купол, который растет вверх и растекается в стороны по мере насыщения грунтов водой. Расчеты выполнены решением уравнения Буссинеска, описывающего геофильтрацию. С этой целью применен метод конечных разностей, реализованный средствами программы Visual Modflow. Задача решается с использованием ортогональной сетки, 100×100 элементов, с шагом на периферии — 100 м, а в зоне инфильтрации — 10–20 м. В плане она имеет форму прямоугольника с шириной сторон 3000 м. По вертикали модель включает 14 горизонтальных слоев мощностью 1,0 м для лучшей сходимости решения и более точного отслеживания динамики УГВ (рис. 2). Приток со стороны границ отсутствует, восточная и западная границы имитируют балки и моделируются как дрены, расположенные на уровне грунтовых вод. Абсолютная отметка верхней границы толщи составляет +14,0 м, подошвы — 0,0 м, режим фильтрации безнапорный. Значения коэффициентов фильтрации выбраны на основе полевых изысканий в Ростове-на-Дону [21] и исследований цифровых моделей [11, 22]. Горизонтальный коэффициент фильтрации принимается $К_ф(x, y)$ = 0,1 м/сут, вертикальный — $К_ф(z)$ = 0,6 м/сут. Начальный уровень свободной поверхности воды установлен на отметке +7 м (слои 9–14), зона аэрации моделируется безводными слоями 1–8.

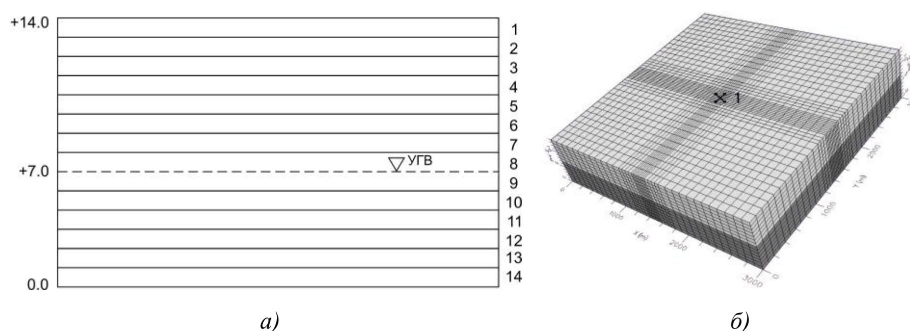
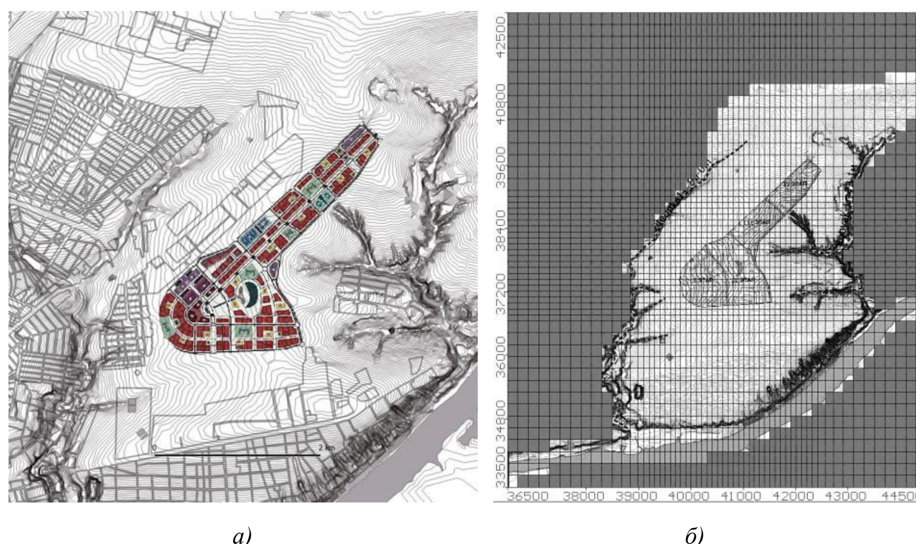


Рис. 2. Схема сеточной гидрогеологической модели в разрезе и плане:
а — вертикальный разрез модели с указанием слоев и УГВ; *б* — площадка инфильтрации
(темный тон – водонасыщенная толща, светлый – зона аэрации)

Поступление воды имитировалось площадным питанием в центре верхнего слоя через группу ячеек суммарной площадью 360 м^2. Решение задачи выполнено в нестационарном режиме фильтрации для расчетного периода 1825 суток, разделенного на 10 шагов. Решение выполнено с применением пакета PCG (Preconditioned Conjugate-Gradient) Modflow. В нашем случае существует неопределенность в оценках интенсивности потери воды на поверхности земли. С учетом этого обстоятельства выполнены многовариантные расчеты, позволяющие оценить скорость подъема УГВ в зависимости от интенсивности инфильтрации, значение которой последовательно изменялось: 10, 20, 50, 100 м^3/сут.

Построение модели-2. Вторая модель описывала структуру природного объекта. Область модели площадью 25 км^2 ограничена руслом реки Дон (юг), балкой Кизитериновской (запад), Кобяковской и Пороховой (восток) (рис. 3). Северная граница проведена по водоразделу поверхности подземных вод и рельефа. Пространство модели дискретизировано с переменным шагом от 200 м на периферии и до 80 м — в центральной части.

В вертикальной структуре модели выделен нормально залегающий водопроницаемый слой неогеновых отложений песчаников и известняков мощностью 40 м. Он сменяется по вертикали водонепроницаемой толщей скифских глин мощностью 10–15 м с кровлей, плавно снижающейся в юго-западном направлении от +55 до +50 м. Кровля служит подошвой безнапорного водоносного горизонта четвертичных отложений. Поверхность земли является верхней границей четвертичных суглинков с абсолютными отметками на территории Аэропорта +95–65 м, а в пределах границ модели — от +120 м в северной части до +1 м у берега реки Дон.



а) *б)*

Рис. 3. Схематизация территории исследования: *а* — существующая застройка, в центре выделена территория Аэропорта; *б* — сетка дискретизации грунтового массива (темный цветовой тон – ячейки, неактивные в модели)

Природные условия схематизированы, заданы граничные и начальные условия модели. С запада и востока границами модели являются дрены, которые имитируют балки — это граничные условия III-рода, которые принимают воду, если напор выше их отметок, и отдают, если он опускается ниже. С юга река моделируется граничным условием I-рода, с постоянными значениями уровня воды. Граница с севера принята водонепроницаемой. Абсолютные отметки поверхности земли заданы на основании карты горизонталей (М1:10000). Геометрические параметры поверхностей неогеновых отложений и скифских глин оцифрованы средствами геоинформационной системы QGIS по геологическим и гидрогеологическим картам. Сформирован набор файлов, содержащих пространственные координаты точек, описывающих морфологию поверхности земли, литологические границы и распределение УГВ. Полученные данные импортировались в пространство цифровой гидрогеологической модели средствами Visual Modflow, и выполнялось решение уравнения Буссинеска, представляющего распределенные в пространстве и времени значения гидростатических напоров. Модель системно описывает динамику подземных вод и является наиболее удачным инструментом для ее изучения.

В настоящее время доступ к результатам актуальных гидрогеологических исследований ограничен. Поэтому фильтрационные параметры модели приняты на основании ранее выполненных исследований на цифровых моделях и опубликованных материалов об изысканиях ОАО «РостовДонТИСИЗ» [11, 21, 22]. Коэффициент фильтрации установлен для дрен $К_Ф = 0{,}1$ м/сут, ложа реки — $К_Ф = 0{,}1$ м/сут. Значения водопроницаемости для четвертичных отложений составляют $К_ф(x, y) = 0{,}1$ м/сут по горизонтали и $К_ф(z) = 0{,}6$ м/сут по вертикали. Скифские глины заданы слабо водоупорными ($К_ф = 0{,}005$ м/сут), для межпластового водоносного горизонта водопроницаемость принята $К_ф = 40$ м/сут. Большие перепады гидростатических напоров по площади учтены вертикальной дискретизацией модели с шагом 2–5 м и заданием 10 расчетных слоев в интервале четвертичных отложений. Коэффициент водоотдачи принят равным 0,2. Инфильтрация воды в грунт предварительно принята в интервале 300–400 мм/год.

Идентификация параметров модели выполнена подбором значений при многовариантном решении имитационных задач. Моделирование выполнено в стационарном режиме фильтрации. Критерием адекватности мо-

дели является минимальное расхождение значений гидростатических напоров с картой гидроизогипс, построенной ОАО «РостовДонТИСИЗ» за 2000 год.

Результаты исследования. В ходе моделирования имитировалась локальная инфильтрация и оценивались скорость подъема купола грунтовых вод и границы его растекания. Установлено, что при точечных потерях воды вершина купола УГВ установится на глубине 5 м через 4, 14 и 60 месяцев при инфильтрации в объеме 20, 10, 5 м^3/сут соответственно. При локальных потерях воды менее 2 м^3/сут подтопление не реализуется, и по истечении 5 лет купол стабилизируется на глубине 6,5 м. В ходе расчетов регистрировалось расстояние, на которое растекается купол подземных вод с превышением над УГВ на 0,1 м. В таблице 1 видно, что обводнение при локальных потерях вод развивается компактно.

В первый месяц инфильтрации изменения в водоносном горизонте можно заметить на расстоянии менее 25–40 м. На четвертом месяце они проявятся на расстоянии 50–70 м от очага. Следует уделить внимание второй часть таблицы с расчетами для грунтов с изотропными фильтрационными свойствами (К$_ф$*(x, y, z)* = 0,6 м/сут). Расчетные радиусы куполов подтопления увеличились на 30 %. Критически высокий уровень подземных вод достигается на 2 и 4 месяцы при существенно больших объемах инфильтрации: 100 и 50 м^3/сут соответственно.

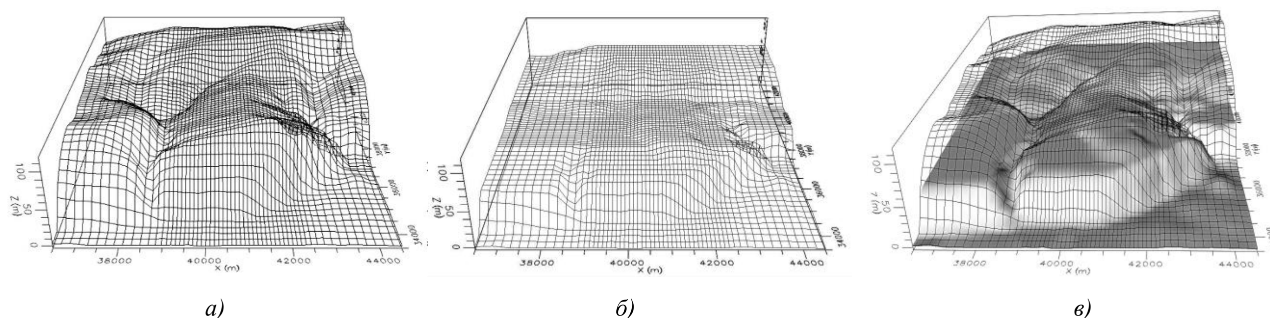
Таблица 1

Радиус купола УГВ при локальной инфильтрации воды

Период инфильтрации, мес.	Интенсивность инфильтрации, м^3/сут			
	5	10	20	50
	Радиус купола, м			
К$_ф$*(z)* = 0,6 м/сут, К$_ф$*(x, y)* = 0,1 м/сут				
1	25	34	42	–
2	38	47	57	–
4	50	60	70	–
К$_ф$*(x, y, z)* = 0,6, м/сут				
1	20	38	53	74
2	40	54	75	97
4	40	78	90	128

Толща изотропных грунтов менее чувствительна к обводнению. Согласно расчетам для подтопления в изотропных грунтах за 4 месяца требуется в 2,5 раза больше объема воды, чем в анизотропных. При инфильтрации 20 м^3/сут подтопление не реализуется, а УГВ через пять лет установится на глубине 5,8 м.

На второй модели имитировалась динамика водоносного горизонта на всей территории предполагаемого строительства. Пространственная структура толщи (рис .4) показывает значительные изменения мощности четвертичных отложений по площади. Она максимальна на водоразделе (20–25 м), уменьшается на склонах и выклинивается внутри балок. Это означает, что грунтовые воды дренируются эрозионными врезами, особенно хорошо в тех местах, где размыты скифские глины.



а) *б)* *в)*

Рис. 4. Топография территории строительства: *а* — поверхность земли; *б* — кровля скифских глин; *в* — совмещение двух поверхностей

На рис. 5 видна тесная взаимосвязь конфигурации гидроизогипс и морфологии поверхности скифских глин. Поверхность подземных вод неотвратимо понижается с приближением к эрозионным депрессиям в глинах. Они являются одним из главных факторов режима грунтовых вод.

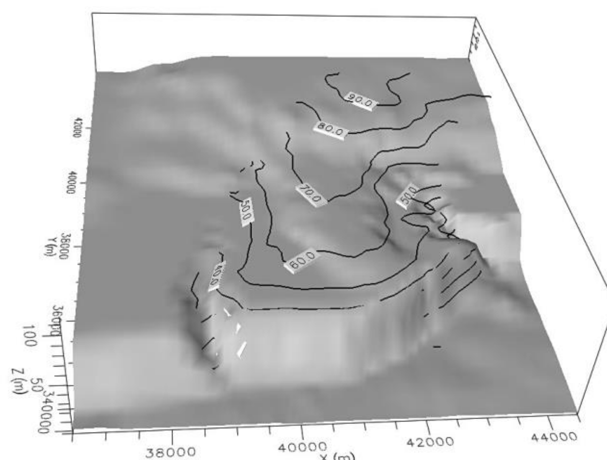
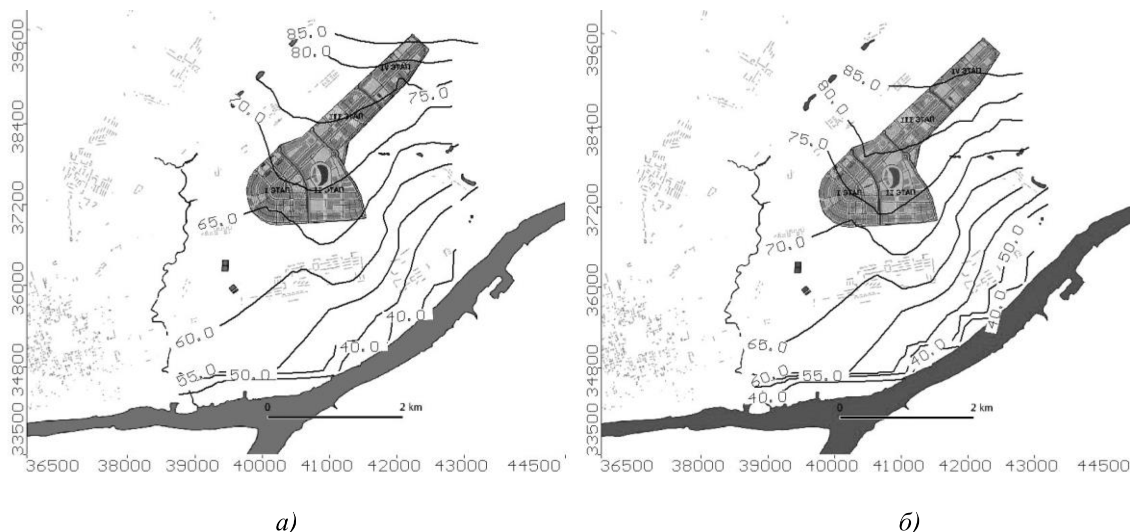


Рис. 5. Положение линий гидроизогипс (сплошные линии) над поверхностью скифских глин

Структура потока имеет особенности: преобладает направление с севера на юг с минимальными уклонами I = 0,006 и скоростью движения воды V = 0,22 м/год. В широтном направлении поток сжат дренирующим влиянием балок, на склонах балок скорость потока увеличивается до 3,5 м/год.

Расчеты показывают, что етстественные дрены в виде балок и оврагов поглощают 22 % общего стока подземных вод, остальная часть разгружается в реку. Отключение на модели дрен приводит к повышению расчетного значения УГВ территории Аэропорта на 5 м.

Вторым аспектом гидродинамики территории являются масштабы развития подтопления. Расчеты на модели показывают (рис. 6): увеличение объема инфильтрации на 10 % достаточно для подъема УГВ в пределах всей территории на 5 метров, что приводит к подтоплению.



а) *б)*

Рис. 6. Положение УГВ на территории Аэропорта: *а* — фоновое значение инфильтрации;
б — при увеличении инфильтрации на 10 %

Учитывая один из вариантов застройки, а также сложившиеся гидрогеологические условия, целесообразно разместить сеть наблюдательных скважин, обеспечивающих систематический контроль режима грунтовых вод (рис. 7). Мониторинг УГВ необходим для оценки влияния источников подтопления, расположенных за пределами территории, и очагов потерь воды на территории застройки. Скважины размещаются в районах скопления зданий для раннего обнаружения локальных утечек, а по северному и южному контурам территории – для контроля изменения УГВ со стороны жилого района Вересаево, АО «Алмаз» и ремонтного предприятия.



Рис. 7. Схема размещения наблюдательных гидрогеологических скважин

Сеть скважин должна развиваться последовательно за этапами реализации строительства. Контроль УГВ целесообразно осуществлять автоматическими датчиками с передачей данных в сеть Интернет [27].

Обсуждение и заключения. Геологические предпосылки способствуют подъему УГВ, но провокатором процесса являются исключительно техногенные причины. Разработанная численная модель геофильтрации позволила исследовать баланс подземных вод на участке плиоценовой террасы и сделать выводы о возможности подтопления при техногенных нагрузках. Она должна актуализироваться по мере накопления материалов инженерно-геологических изысканий.

Полученные результаты позволяют сформулировать требования к мониторингу водоносного горизонта на застроенной территории. В соответствии с СП 104.13330. 2016 массив грунтов считается подтопленным при подъеме УГВ на глубину 3–5 метров. Если расстояние между наблюдательными скважинами не превышает 50–70 м, то возможность регистрации аномалий УГВ появится через 2–4 месяца. Однако формирование детальной сети наблюдательных скважин требует дополнительных затрат. Уменьшение их числа возможно за счет размещения в местах наиболее вероятного проявления очагов потерь воды. Для оперативного анализа гидродинамического режима на территории Аэропорта целесообразно разместить примерно 40 наблюдательных гидрогеологических скважин.

Расчеты показывают необходимость уточнения фильтрационных параметров в ходе опытно-фильтрационных работ. Из-за низкой водопроницаемости грунтов значительную долю испытаний должны составлять наливы воды в скважины. В численных экспериментах соотношение вертикального и горизонтального коэффициентов фильтрации принято $К_ф(z)/К_ф(x, y) = 6$. При меньших значениях коэффициента процесс подтопления будет замедлен.

Морфология рельефа и литологических границ оказывают решающее влияние на движение подземных вод. Поэтому в ходе строительства и эксплуатации территории необходимо обеспечить доступность разгрузки подземных вод в рельефе. Засыпка понижений рельефа обязательно должна сопровождаться устройством дренажа. Лучшим подходом является устройство зон рекреации. Как показывают расчеты, блокирование дренирующей способности дрен приводит к подтоплению.

Согласно проведенных расчетов, увеличение инфильтрационного питания на 10 % приводит к подтоплению. Время его возникновения определяется ответственностью эксплуатантов территории и может вообще не наступить. Однако опыт функционирования вновь застроенных районов города указывает на период в среднем 2–3 года.

Если на территории произойдет подъем УГВ, то обратное его снижение будет крайне медленным и только за счет оттока в широтном направлении. Это означает, что при застройке территории необходимо максимально снизить барражный эффект фундаментов для беспрепятственного оттока воды в направлении «восток-запад».

Полученные результаты согласуются с выполненными ранее гидрогеологическими исследованиями в Ростове-на-Дону. Они дополняют информацию, необходимую для поиска решений по инженерной защите территории.

Список литературы

1. Каманина И.З., Каплина С.П., Макаров О.А., Кликодуева Н.А. *Комплексная оценка экологического состояния наукограда Дубна*. Дубна: ОИЯИ; 2019. 168 с.

2. Никаноров А.М. Барцев О.Б., Барцев Б.О. Техногенное подтопление на территории юга России в Ростовской области. *Известия РАН. Серия географическая*. 2009;1: 1–11. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_11695694_24019601.pdf

3. Таджибаева Н.Т., Мавлянова Н.Г. *Исследование свойств и состояния грунтов в основании древних памятников архитектуры г. Бухара*. В: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (31 марта – 1 апреля 2022 г.). Москва: ГеоИнфо; 2022. С. 124–127.

4. Awad S.R., el Fakharany Z.M. Mitigation of waterlogging problem in El-Salhiya area. *Water Science*. 2020;34(1):1–12. https://doi.org/10.1080/11104929.2019.1709298

5. Павлова Н.А. Данзанова М.В., Огонеров В.В. *Особенности взаимосвязи поверхностных и подземных вод на пойменно-намывной территорий г. Якутска*. В: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (31 марта – 1 апреля 2022 г.). Москва: ГеоИнфо; 2022. С. 110–116.

6. Красовская И.А., Галкин А.Н. *Техногенные грунты на территории г. Витебска и геоэкологические аспекты их изучения*. В: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (31 марта – 1 апреля 2022 г.). Москва: ГеоИнфо; 2022. С. 364–371.

7. Заиканов И.Н. Заиканова Е.В., Булдакова И.А. *Геоэкологический и ландшафтно-экологический анализ территорий существующих свалок ТБО Московской области.* В: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22 марта 2018 г.). Москва: РУДН; 2018. С. 65–70.

8. Hill K., Henderson G. Pond Urbanism: Floating Urban Districts on Shallow Coastal Groundwater. *WCFS2020. Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021;158: 23–42. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2256-4_2

9. Luoma S., Okkonen J. Impacts of future climate change and Baltic Sea level rise on groundwater recharge, groundwater levels, and surface leakage in the Hanko aquifer in southern Finland. *Water (Switzerland)*. 2014;6(12): 3671–3700. https://doi.org/10.3390/w6123671

10. Krogulec E., Małecki J., Porowska D., Wojdalska A. Assessment of Causes and Effects of Groundwater Level Change in an Urban Area (Warsaw, Poland). *Water*. 2020;12(11): 3107. https://doi.org/10.3390/w12113107

11. Гридневский А.В. Численное моделирование геофильтрации правобережья реки Дон для обоснования инженерной защиты от подтопления в г. Ростове-на-дону. *Геология и геофизика Юга России*. 2019;9(1): 150–163.

12. Vázquez-Suñé E., Carrera J., Tubau I., Sánchez-Vila X., Soler A. An approach to identify urban groundwater recharge. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2010;14(10): 2085–2097. https://doi.org/10.5194/hess-14-2085-2010

13. Yao Y., Zhang M., Deng Y., Dong Y., Wu X., Kuang X. Evaluation of environmental engineering geology issues caused by rising groundwater levels in Xi'an, China. *Engineering Geology*. 2021;294. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106350

14. Allocca V., Silvio C., Pantaleone De V., Raffaele V. Rising groundwater levels and impacts in urban and semirural are around Naples (southern Italy). *Rendiconti Online Societa Geologica Italiana*. 2016;41:14–17. http://dx.doi.org/10.3301/ROL.2016.81

15. Locatelli L., Mark O., Mikkelsen P.S., Arnbjerg-Nielsen K., Deletic A., Roldin M., Binning J.P. Hydrologic impact of urbanization with extensive stormwater infiltration. *Journal of Hydrology*. 2017;544: 524–537. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.11.030

16. La Vigna F. Review: Urban groundwater issues and resource management, and their roles in the resilience of cities. *Hydrogeol. J*. 2022;30:1657–1683. https://doi.org/10.1007/s10040-022-02517-1

17. Огородникова Е.Н., Николаева С.К. *Изменение геологической среды под воздействием массивов техногенных грунтов – отходов промышленного производства*. В: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (22 марта 2018 г.). Москва: РУДН; 2018. С. 137–142.

18. Yihdego Y., Danis C., Paffard A. Groundwater engineering in an environmentally sensitive urban area: Assessment, landuse change/infrastructure impacts and mitigation measures. *Hydrology*. 2017;4(3). https://doi.org/10.3390/hydrology4030037

19. Килин И.Ю. *Влияние нового строительства на подтопление г. Перми*. В: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (2–4 апреля 2019 г.). Сборник научных трудов под ред. В. И. Осипова и др. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т; 2019. Вып. 21. С. 190–195.

20. Приваленко В.А., Безуглова О.С. Экологические проблемы антропогенных ландшафтов Ростовской области. В кн.: *Экология города Ростова-на-Дону*. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНВШ; 2003. Т. 1. 290 с.

21. Меркулова К.А. *Инженерно-геологические условия г. Ростова-на-Дону.* Ростов-на-Дону: Изд-во РГПУ; 2006. 132 с.

22. Гридневский А.В. *Имитационное гидрогеологическое моделирование при поиске решений реабилитации техногенно-нарушенного режима грунтовых вод г. Ростова-на-дону.* В: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (2–4 апреля 2019 г.). Сборник научных трудов под ред. В. И. Осипова и др. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т; 2019. Вып. 21. С. 162–172.

23. Červeňanská M., Baroková D., Šoltész A. Rye Island, 2010: Impact of the flooding on the groundwater level. *Pollack Periodica*. 2021;16(3):70–75. https://doi.org/10.1556/606.2021.00357

24. Chiang W-H., Kinzelbach W. *3D-Groundwater Modeling with PMWIN A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution*. Berlin: Springer; 2000. 342 p.

25. Barnett B., Townley L.R., Post V., et al. *Australian Groundwater Modelling Guidelines, Waterlines report.* Canberra: National Water Commission; 2012. 203 p.

26. Wels Ch., Geo P., Mackie D., Scibek J. *Guidelines for Groundwater Modeling to Assess Impacts of Proposed Natural Resource Development Activities*. Toronto: Robertson GeoConsultants Inc. & SRK Consulting (Canada) Inc; 2012. 385 p.

27. Ткаченко И.Г., Шатохин А.А., Гераськин В.Г., Кислун А.А. Автоматизированная система сбора и передачи данных с гидрогеологических наблюдательных скважин. *Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности*. 2013;5:18–22.

References

1. Kamanina IZ, Kaplina SP, Makarov OA, Klikodueva NA. *Kompleksnaya ocenka ehkologicheskogo sostoyaniya naukograda Dubna*. Dubna: Joint Institute for Nuclear Reasearch; 2019. 168 p. (In Russ.).

2. Nikanorov AM, Barcev OB, Barcev BO. Tekhnogennoe podtoplenie na territorii yuga Rossii v Rostovskoj oblasti. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2009;1:1–11. Available from: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_11695694_24019601.pdf (In Russ.).

3. Tadzhibaeva NT, Mavlyanova NG. *Issledovanie svojstv i sostoyaniya gruntov v osnovanii drevnikh pamyatnikov arkhitektury g. Bukhara.* In: Materialy godichnoj sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoehkologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii (31.03 – 1.04.2022). Moscow: "GeoInfo"; 2022. P. 124–127. (In Russ.).

4. Awad SR, el Fakharany ZM. Mitigation of waterlogging problem in El-Salhiya area. *Water Science*. 2020;34(1):1-12. https://doi.org/10.1080/11104929.2019.1709298

5. Pavlova NA, Danzanova MV, Ogonerov VV. *Osobennosti vzaimosvyazi poverkhnostnykh i podzemnykh vod na pojmenno-namyvnoj territorij g. Yakutska*. In: Materialy godichnoj sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoehkologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii (31.03 – 1.04.2022). Moscow: "GeoInfo"; 2022. P. 110–116. (In Russ.).

6. Krasovskaya IA, Galkin AN. *Tekhnogennye grunty na territorii g. Vitebska i geoehkologicheskie aspekty ikh izucheniya*. In: Materialy godichnoj sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoehkologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii (31.03 – 1.04.2022). Moscow: "GeoInfo"; 2022. P. 364–371. (In Russ.).

7. Zaikanov IN, Zaikanova EV, Buldakova IA. *Geoehkologicheskij i landshaftno-ehkologicheskij analiz territorij sushchestvuyushchikh svalok TBO Moskovskoj oblasti*. In: Materialy godichnoj sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoehkologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii (31.03 – 1.04.2022). Moscow: "GeoInfo"; 2022. P. 65–70. (In Russ.).

8. Hill K, Henderson G. *Pond Urbanism: Floating Urban Districts on Shallow Coastal Groundwater*. WCFS2020. Lecture Notes in Civil Engineering; 2021;158:23–42. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2256-4_2

9. Luoma S, Okkonen J. Impacts of future climate change and Baltic Sea level rise on groundwater recharge, groundwater levels, and surface leakage in the Hanko aquifer in southern Finland. *Water (Switzerland)*. 2014;6(12):3671–3700. https://doi.org/10.3390/w6123671

10. Krogulec E, Małecki J, Porowska D, Wojdalska A. Assessment of Causes and Effects of Groundwater Level Change in an Urban Area. *Water*. 2020;12(11):3107. https://doi.org/10.3390/w12113107

11. Gridnevskij AV. Numerical simulation of the filtration process in the right-bank of the river Don for protection the buildings against rise of groundwater in the city of Rostov-on-Don. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2019;9(1):150–163. (In Russ.).

12. Vázquez-Suñé E, Carrera J, Tubau I, Sánchez-Vila X, Soler A. An approach to identify urban groundwater recharge. *Hydrology and Earth System Sciences.* 2010;14(10):2085–2097. https://doi.org/10.5194/hess-14-2085-2010

13. Yao Y, Zhang M, Deng Y, Dong Y, Wu X, Kuang X. Evaluation of environmental engineering geology issues caused by rising groundwater levels in Xi'an, China. *Engineering Geology*. 2021;294. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106350

14. Allocca V. Silvio C., Pantaleone De V., Raffaele V. Rising groundwater levels and impacts in urban and semirural are around Naples (southern Italy). Rendiconti Online Societa Geologica Italiana. 2016;41:14–17. http://dx.doi.org/10.3301/ROL.2016.81

15. Locatelli L, Mark O, Mikkelsen PS, Arnbjerg-Nielsen K, Deletic A, Roldin M, Binning JP. Hydrologic impact of urbanization with extensive stormwater infiltration. *Journal of Hydrology*. 2017;544: 524–537.https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.11.030

16. La Vigna F. Review: Urban groundwater issues and resource management, and their roles in the resilience of cities. *Hydrogeol J*. 2022;30:1657–1683. https://doi.org/10.1007/s10040-022-02517-1

17. Ogorodnikova E.N., Nikolaeva S.K. *Izmenenie geologicheskoj sredy pod vozdejstviem massivov tekhnogennykh gruntov – otkhodov promyshlennogo proizvodstva*. In: Materialy godichnoj sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoehkologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii (22.03.2028). Moscow: RUDN; 2018. P. 137–142. (In Russ.).

18. Yihdego Y, Danis C, Paffard A. Groundwater engineering in an environmentally sensitive urban area: Assessment, landuse change/infrastructure impacts and mitigation measures. *Hydrology*. 2017;4(3). https://doi.org/10.3390/hydrology4030037

19. Kilin IY. *Vliyanie novogo stroitel'stva na podtoplenie g. Permi*. In: Osipova V.I., editors. Materialy godichnoj sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoehkologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii (02.04. – 04.04.2019). Sbornik nauchnykh trudov pod red. Perm: Perm State University; 2019. 21:190–195. (In Russ.).

20. Privalenko VA, Bezuglova OS. Ecological problems of anthropological landscapes in the Rostov region. *Ecology of Rostov-on-Don*. Volume 1. Rostov-on-Don: SKNTS VSH Publishing House; 2003. 290 p. (In Russ.).

21. Merkulova KA. *Inzhenerno-geologicheskie usloviya g. Rostova-na-Donu*. Rostov-on-Don: RGPU; 2006. 132 p. (In Russ.).

22. Gridnevskij AV. *Imitacionnoe gidrogeologicheskoe modelirovanie pri poiske reshenij reabilitacii tekhnogenno-narushennogo rezhima gruntovykh vod g. Rostova-na-Donu.* In: Osipova V.I., editors. Materialy godichnoj sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoehkologii, inzhenernoj geologii i gidrogeologii (02.04. – 04.04.2019). Sbornik nauchnykh trudov pod red. Perm: Perm State University; 2019. 21:162–172. (In Russ.).

23. Červeňanská M, Baroková D, Šoltész A. Rye Island, 2010: Impact of the flooding on the groundwater level. *Pollack Periodica*. 2021;16(3):70–75. https://doi.org/10.1556/606.2021.00357

24. Chiang WH, Kinzelbach W. *3D-Groundwater Modeling with PMWIN A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution*. Berlin: Springer; 2000. 342 p.

25. Barnett B, Townley LR, Post V, et al. *Australian Groundwater Modelling Guidelines, Waterlines report*. Canberra: National Water Commission; 2012. 203 p.

26. Wels C, Geo P, Mackie D, Scibek J. *Guidelines for Groundwater Modeling to Assess Impacts of Proposed Natural Resource Development Activities*. *Report No. 194001*. Canada: Robertson GeoConsultants Inc. & SRK Consulting Inc. 2012. 385 p.

27. Tkachenko IG, Shatokhin AA, Geras'kin VG, Kislun AA. Automated System Designed for Collection and Transfer of Data from Hydrogeological Observation Wells. *Automation and Informatization of the fuel and energy complex*; 2013;5:18–22. (In Russ.).

Об авторе:

Гридневский Александр Викторович, доцент кафедры «Инженерная геология, основания и фундаменты» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат геолого-минералогических наук, доцент, ORCID, a328@ya.ru

Поступила в редакцию 20.03.2023.
Поступила после рецензирования 10.04.2023.
Принята к публикации 11.04.2023.

Конфликт интересов
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the Author:

Alexander V Gridnevsky, associate professor of the Engineering Geology, Bases and Foundations Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation, 344003), Cand.Sc. (Geology and Mineralogy), associate professor, ORCID, a328@ya.ru

Received 20.03.2023.
Revised 10.04.2023.
Accepted 11.04.2023.

Conflict of interest
The author declares that there is no conflict of interest.

The author has read and approved the final version of the manuscript.





УДК 69:004

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-19-28



Исследование установки вертикально-осевых ветряных турбин на верхних этажах высотных зданий

У Шисяо ✉, **С.Г. Шеина**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

✉ 1264950586@qq.com

Аннотация

Введение. В настоящее время быстро развивается отрасль строительства высотных и сверхвысотных зданий. Нехватка невозобновляемых источников энергии и ухудшение состояния окружающей среды — две основные проблемы, которые присутствуют в каждой стране. Именно поэтому интенсивно развивается ветроэнергетика, которая способна не только остановить стремительное ухудшение экологической ситуации, но и позволит повысить доступность энергоснабжения и значительно сократит дефицит энергии. Целесообразно использование энергии ветра для обеспечения чистыми возобновляемыми источниками энергии высотных зданий путем установки ветряных турбин с вертикальной осью на верхних этажах зданий. Цель работы — подтвердить, что ветряные турбины с вертикальной осью больше подходят для установки на верхних этажах высотных зданий в городах из-за их уникальных преимуществ (простая конструкция, простота обслуживания, адаптация к сложной и изменчивой ветровой среде, длительный срок службы), обеспечивающих безопасную и экологически чистую зеленую энергию для городов.

Материалы и методы. Для исследования была использована небольшая ветровая турбина с вертикальной осью. Эффективность различных ветровых турбин измерялась путем изменения силы и направления ветра при одинаковых условиях окружающей среды для определения, может ли ветротурбина с вертикальной осью работать безопасно, стабильно и эффективно в сложной и изменчивой ветровой среде города. В свою очередь, доказано, что для обеспечения городов экологически чистой энергией ветряные турбины с вертикальной осью больше подходят для установки на верхних этажах высотных зданий, чем ветряные турбины с горизонтальной осью.

Результаты исследования. Изменяя силу и направление ветра, было установлено, что вертикально-осевые ветровые турбины имеют хорошую и стабильную эффективность работы и могут обеспечить постоянный источник чистой энергии для городского развития более безопасным и стабильным способом.

Обсуждение и заключение. Ветряные турбины с вертикальной осью идеально приспособлены к сложной и меняющейся ветровой обстановке на верхних этажах высотных зданий и могут эксплуатироваться безопасно и эффективно, внося положительный вклад в снижение энергетической нагрузки и улучшение состояния окружающей среды.

Ключевые слова: ветроэнергетика; вертикально-осевые ветровые турбины; ветровые турбины; высотные здания.

Для цитирования. Шисяо У. Шеина С.Г. Исследование установки вертикально-осевых ветряных турбин на верхних этажах высотных зданий. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(2):19–28. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-19-28

Original article

Study on Installation of the Vertical Axis Wind Turbines on the Upper Floors of High-Rise Buildings

Wu Shixiao ✉, **Svetlana G Sheina**

Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ 1264950586@qq.com

Abstract

Introduction. Nowadays the sector of high-rise and super high-rise buildings construction is rapidly developing. The deficiency of non-renewable energy sources and the deterioration of the environment are two major problems faced by every country. Therefore, the wind power engineering is intensely developing and is able not only to stop the rapid deterioration of environmental situation but also to improve accessibility of energy supply and considerably reduce the deficit of energy. It is rational to use the wind power to source the clean renewable energy for the high-rise buildings by installing the vertical axis wind turbines on the upper floors of the buildings. The aim of the work is to confirm that the vertical axis wind turbines are the best appropriate for installation on the upper floors of high-rise buildings in the cities due to unique advantages thereof (simple design, easy maintenance, adaptability to complicated and changeable wind environment, long operation life), which ensure the supply of the cities with the safe and clean green energy.

Materials and Methods. A small-size vertical axis wind turbine was taken for the study. The operation efficiency of various wind turbines was measured by changing the wind strength and direction under the same environmental conditions to determine whether a vertical axis wind turbine could operate safely, sustainably and efficiently in the complicated and changing wind environment of the city. Alongside it was proved that for ensuring the supply of the cities with the safe and clean energy the installation of the vertical axis wind turbines on the upper floors of high-rise buildings is more appropriate compared to the installation of horizontal ones.

Results. By changing the wind strength and direction, it was found that the vertical axis wind turbines have good and stable operation efficiency and can provide a constant source of clean energy for urban development in a safer and more stable way.

Discussion and Conclusions. The vertical axis wind turbines are ideally adapted to the complicated and changing wind conditions of the upper floors of high-rise buildings and can be safely and efficiently operated, making positive contribution to reducing the energy load and improving the state of environment.

Keywords: wind power engineering; vertical axis wind turbines; wind turbines; high-rise buildings.

For citation. Shixiao Wu, Sheina SG. Study on Installation of the Vertical Axis Wind Turbines on the Upper Floors of High-Rise Buildings. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(2):19–28. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-19-28

Введение. В связи с необходимостью уменьшения глобальной нехватки энергии и улучшения состояния окружающей среды страны по всему миру энергично продвигают зеленую энергетику. Комбинируя ветряные турбины с высотными зданиями, незанятые верхние этажи высотных зданий обеспечивают площадку для ветряных турбин, а ветряные турбины обеспечивают постоянный поток безопасной и экологически чистой зеленой энергии для города. Среди трудностей: сложная и изменчивая ветровая среда в городе, проблема шума ветряных турбин при работе, безопасная и эффективная эксплуатация ветряных турбин. Влияние ветряных турбин на городское планирование и внешний вид города. В статье представлена структура ветряных турбин с вертикальной осью, проверено стабильное рабочее состояние ветряных турбин с вертикальной осью в сложных и изменчивых условиях ветра и размер генерируемого шума, подтверждена возможность идеального сочетания ветряных турбин с вертикальной осью и высотных зданий для обеспечения города экологически чистой энергией.

Материалы и методы. Механическая структура небольшой ветряной турбины с прямым приводом на вертикальной оси (рис. 1) состоит из:

– ветряной турбины;
– генератора;
– вала;
– муфты;
– башни и т. д.

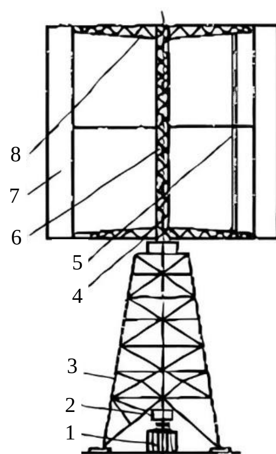


Рис. 1. Структура малой вертикально-осевой ветровой турбины:
1 — генератор; *2* — инкрементатор скорости; *3* — башня; *4* — нижняя опора; *5* — тормоза лезвия;
6 — вертикальный вал; *7* — лезвие; *8* — верхняя опора

Ось вращения ветротурбины с вертикальной осью перпендикулярна направлению ветра. Конструкция ветротурбины с вертикальной осью проста, и ветроколесо не обязательно должно быть обращено к ветру. Ее преимущества заключаются в следующем:

1) ветротурбина может принимать ветер любого направления, нет необходимости поворачивать ее «лицом» к ветру;

2) редукторы и генераторы могут быть установлены на земле для удобства обслуживания [1].

В соответствии с силовым методом лопастей его можно разделить на ветряные турбины подъемного типа и ветряные турбины сопротивления. Ветряные турбины подъемного типа используют подъем лопастей для приведения оси вращения во вращение, тем самым преобразуя энергию ветра в электрическую энергию. Этот вид ветряных турбин в настоящее время более распространен. Большинство ветряных турбин с горизонтальной осью относятся к ветряным турбинам подъемного типа. В настоящее время в крупных и средних ветроэнергетических установках в основном используются ветряные турбины с горизонтальной осью, которые представляют собой ветряные турбины подъемного типа, которые имеют следующие преимущества: высокая скорость и высокая степень использования ветра. Коэффициент скорости на кончике лопасти обычно превышает 4, а максимальный коэффициент мощности может достигать 50 % (рис. 2). Ветряные турбины резистивного типа используют сопротивление, получаемое на лопастях, для приведения генератора в действие для выработки электроэнергии. Большинство ветряных турбин резистивного типа — это ветряные турбины с вертикальной осью, которые в настоящее время встречаются редко (рис. 3).



Рис. 2. Подъем ветряных турбин [1]

[1] Precautions for Wind Turbine Installation Site Selection. Baidu : [сайт]. 2023. URL: https://clck.ru/33Ux2f (дата обращения : 07.02.2023).



Рис. 3. Сопротивление ветровых турбин[2]

Вертикальные ветряные турбины подъемного типа обладают преимуществами простой конструкции и легкого обслуживания вертикальных ветряных турбин. Они также имеют высокую скорость, как и ветряные турбины подъемного типа, и коэффициент использования энергии ветра был улучшен, а усилие во время работы более рациональное, чем у ветряных турбин с горизонтальной осью, увеличен срок службы больше [2]. Подводя итог, для более подробного рассмотрения были выбраны ветряные турбины с вертикальным рассматриваем.

Механическая структура небольшой ветровой турбины с прямым приводом с вертикальной осью состоит из: ветровой турбины, генератора, вала, муфты, башни и т.д. Создана плоская система координат, как показано на рис. 4, исходя из предположения, что вектор скорости ветра равен v, вектор скорости на конечной линии лопасти равен u, а угол между положением лопасти равен θ, средняя линейная скорость лопасти равна [3]

$$U = |u| = \frac{\pi D n}{60}.$$

На рис. 4 вектор скорости ветра $v = (0, -V)$, вектор скорости лопасти $u = (-U\sin\theta; U\cos\theta)$, относительная скорость ветра относительно лопасти $w = v + u$, а операция с координатами дает $w = (-U\sin\theta, -V+U\cos\theta)$.

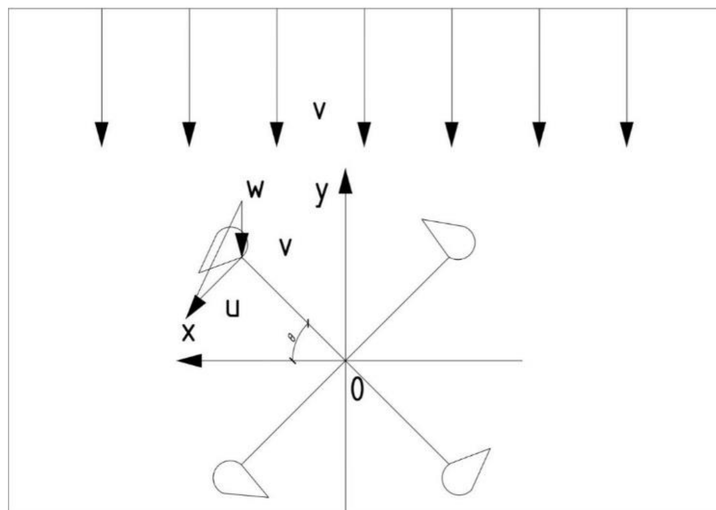


Рис. 4. Принцип работы вертикальной ветровой турбины [3]

[2]Motor heat generation for small mountainous areas Larg. Baidu: [сайт]. 2023. URL: https://clck.ru/33Uwi2 (дата обращения: 07.02.2023).

Величина скорости ветра равна w. W представляет единичный вектор w, а U представляет единичный вектор u. В это время может быть получен угол атаки α. Угол атаки — это угол между относительной скоростью ветра и прямой линией, где длина хорды лопасти находится. Его можно вычислить в соответствии с вектором.

$$\alpha = \cos^{-1}(W - U)$$

Под действием ветра подъемная сила F_1 и сопротивление F_d лопасти под углом атаки α могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$F_1 = \frac{1}{2}\rho S w^2 C_1,$$

$$F_d = \frac{1}{2}\rho S w^2 C_d.$$

Проекция подъемной силы и сопротивления на ветряную турбину в тангенциальном направлении определяются в следующем виде:

$$F_{lt} = F_l \sin\alpha,$$

$$F_{dt} = F_d \cos\alpha,$$

где F_{lt} — составляющая F_l в тангенциальном направлении; F_{dt} — составляющая F_d в тангенциальном направлении.

Силовое разложение лопасти показано на рис. 5 [4].

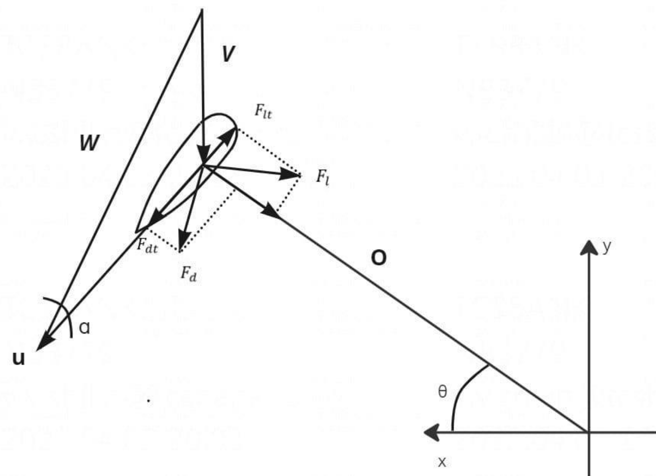


Рис. 5. Модель механики лопастей для вертикальных ветровых турбин [3]

Объединенная сила тангенциальной силы создает крутящий момент для вращения ветроколеса, а крутящий момент, создаваемый лопастью, когда угол положения равен θ, равен

$$M = (F_{lt} + F_{dt})R.$$

Коэффициент использования энергии ветра CP является важным параметром, который отражает эффективность работы ветряных турбин. Поскольку энергия ветра, проходящая через ветряную турбину, не может быть полностью преобразована в механическую энергию ветряной турбины, коэффициент использования энергии ветра CP составляет: [5].

$$C_P = \frac{P_m}{P_w},$$

где P_m — выходная механическая мощность ветровой турбины; P_w — энергия ветра, поступающая на ветровую турбину.

Коэффициент использования энергии ветра C_P обычно изменяется. Он изменяется со скоростью ветра и со скоростью вращения ветроколеса. Отношение линейной скорости кончика лопасти к скорости ветра называется коэффициентом скорости кончика лопасти λ. Для получения наилучшего коэффициента использования энергии ветра, соответствующее соотношение скоростей на кончике лезвия обычно выбирается в соответствии с кривой C_P – λ [6] (рис. 6).

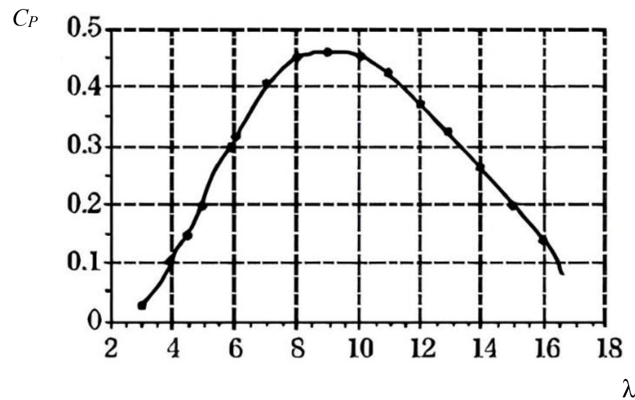


Рис. 6. График C_P – λ

Как видно из рис. 6, при достижении значения коэффициента скорости вращения кончика лопасти примерно 7,5 коэффициент использования энергии ветра является самым высоким, а значение CP имеет максимальное значение. В реальных условиях ветряная турбина обычно не достигает такого высокого коэффициента использования энергии ветра, поэтому сначала устанавливается коэффициент скорости вращения кончика лопасти на λ = 6, а коэффициент использования энергии ветра C_P = 0,4 при проектировании ветротурбины.

Предел Беца.

Закон Беца (англ. Albert Betz) — это базовая теория об эффективности использования энергии ветра при производстве ветроэнергетики, предложенная немецким физиком Альбертом Бецем в 1919 году. Закон Беца основан на предположении об «идеальном ветроколесе», смысл которого заключается в том, что вентилятор может воспринимать всю кинетическую энергию газа, проходящего через ветроколесо, и газ не оказывает сопротивления при условии, что газ представляет собой непрерывный, несжимаемый газ. В этом идеальном случае предельное соотношение энергии ветра которое может быть преобразовано в кинетическую энергию, составляет 16/27, что составляет около 59 %. Формула расчета выглядит следующим образом [7]:

$$\frac{dCp}{da}4(1-a)(1-3a)=0$$

где a — коэффициент индукции воздушного потока.

Решение дифференциального уравнения показывает, что при a = 1/3 C_P является наибольшим, и получается максимальное значение C_P = 0,59.

Отношение скорости линии кончика лопасти ветровой турбины к скорости ветра называется отношением скорости кончика лопасти. Отношение скорости кончика лопасти ветровой турбины сопротивления обычно составляет от 0,3 до 0,6, отношение скорости кончика лопасти ветровой турбины подъема обычно составляет от 3 до 8. В ветровой турбине подъема отношение скорости кончика лопасти непосредственно отражает относительную скорость ветра и угол направления движения лопасти, то есть непосредственно связан с углом атаки лопасти, что является важным параметром для анализа производительности ветровой турбины. Формула расчета коэффициента скорости вращения наконечников листьев следующая [8]:

$$\lambda=\frac{wR}{v}=\frac{2\pi nR}{60v},$$

где w — угловая скорость вращения турбины, n — скорость вращения ветряной турбины, R — радиус ветроколеса турбины, v — скорость ветра.

Для данной конструкции количество лопастей равно 4, коэффициент скорости верхушки λ = 5, ρ = 1,25 кг/м^3 и V = 8 м/с.

Мощность, вырабатываемая генератором, составляет 500 Вт, Кинетическая энергия проходит через муфту, и механизм роста достигает генератора. КПД муфты установлен на 0,99, КПД подшипника качения равен 0,99, КПД замкнутой передачи равен 0,97, а КПД генератора равен 0,71. Поэтому:

$$P_w=\frac{P}{C}=\frac{500}{40\%}=1250W,$$

$$Ne=\frac{p}{\eta}=\frac{1250}{0.99^2\times0.99^3\times0.97^2\times0.71}=1384.02W.$$

Таким образом, площадь размаха ветровой турбины, S, составляет:

$$S = \frac{2P_w}{\rho v^3} = \frac{2\times1384.02}{1.25\times8^3} = 4.325W.$$

Приведенные выше результаты показывают, что ветряная турбина с мощностью ветра 1384,02 Вт имеет площадь захвата 4,325 м^2 и вырабатывает 500 Вт при скорости ветра 8 м/с.

Оптимальное отношение высоты к диаметру ветровой турбины– это отношение высоты к диаметру ветровой турбины, которое должно быть выбрано из условия наименьшей стоимости изготовления лопастей при одинаковой выходной мощности.

$$H\times D = 4.32,$$

где H — высота ветроколеса, D — диаметр ветроколеса.

Получаем H =2,2 м, D =2,0 м, и полученная площадь развертки в основном соответствует требованиям.

Крутящий момент ветровой турбины [9]:

$$T = \frac{P}{w} = 0.5\pi\rho C_P R^3\frac{v^2}{\lambda} = 0.5\times3.14\times1.25\times0.4\times1^3\times\frac{8^2}{6} = 8.37N/m.$$

Общая площадь лопастей ветрогенератора в сравнении с площадью ветра, проходящего через колесо ветрогенератора, равна:

$$\sigma = NCL/2RL = NC/2R,$$

где C — длина хорды лопасти; N — количество лопастей; R — радиус ветряной турбины; L — длина лопасти.

При условии обеспечения аэродинамических характеристик ветроколеса необходимо минимизировать затраты на изготовление лопастей. Характеристики лезвия должны соответствовать следующим требованиям:

– коэффициент подъемной силы имеет большой наклон.

– малый коэффициент лобового сопротивления [10].

С учетом фактической площади установки и других требований общий размер вентилятора не должен быть слишком большим. Путем многократных итерационных вычислений определено, что диаметр развертки ветроколеса составляет 2 м, а длина хорды лопасти составляет 0,25 м.

Согласно графику зависимости между подъемной силой и коэффициентом лобового сопротивления аэродинамического профиля CLARK-Y и углом атаки α, когда угол атаки лопасти относительно направления ветра составляет 13°, турбина получает максимальную кинетическую энергию (рис. 7).

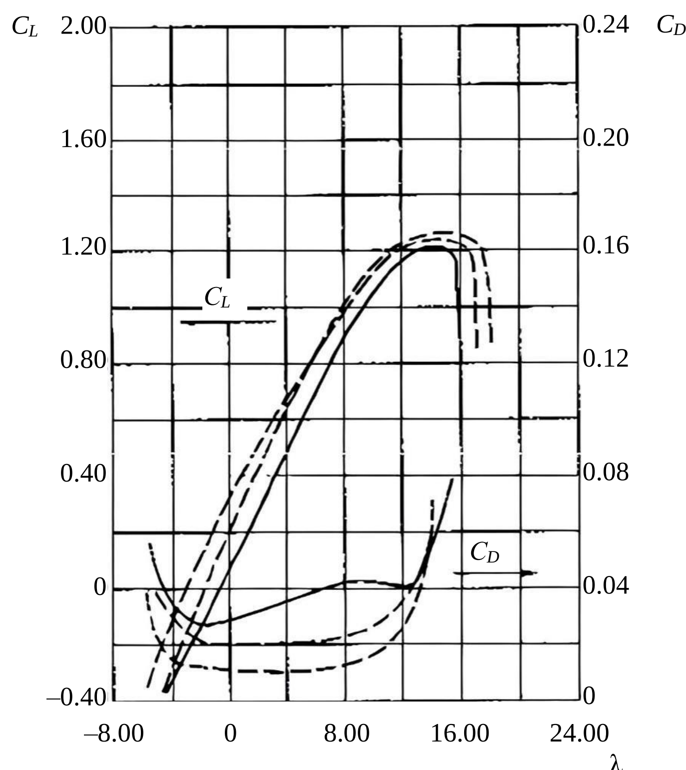


Рис. 7. График зависимости между подъемной силой и коэффициентом лобового сопротивления аэродинамического профиля CLARK-Y и углом атаки

При непрерывной работе ветроколеса лопасть всегда находится под наилучшим углом атаки в течение определенного периода времени. Определено, что при наилучшем угле атаки 13° получаемая кинетическая энергия ветра является наибольшей, а максимальный крутящий момент вырабатывается ветроколесом:

$$M = \frac{1}{2}\rho v^2 R(1+\cot^2\varphi)(C_L\sin\varphi - C_D\cos\varphi)S,$$

$$N = \frac{1}{2}\rho v^2 \cot\varphi(1+\cot^2\varphi)(C_L\sin\varphi - C_D\cos\varphi)S,$$

$$N = w\times M,$$

где ρ — плотность воздуха, 1,205 кг/м^3; R — радиус развертки ветроколеса, м; S — ветровая площадь одной лопасти, м^2; M — крутящий момент, образуемый лопастью после получения энергии ветра, Н·м.; N — мощность энергии ветра, принимаемая лопастью, W.

Полученные данные крутящего момента:

- при скорости ветра 2,50 м/с M = 1,6656 Н·м,
- при скорости ветра 3,00 м/с M = 2,3982 Н·м,
- при скорости ветра 3,55 м/с M = 3,3582 Н·м,
- при скорости ветра 4,26 м/с M = 4,8360 Н·м.

Результаты исследования. В ходе испытаний ветрогенератора с вертикальной осью были получены следующие экспериментальные результаты.

Ветровые турбины с вертикальной осью способны эффективно и безопасно работать в сложных и меняющихся ветровых условиях на верхних этажах высотных зданий. Для запуска и нормальной работы ветротурбины с вертикальной осью достаточно скорости ветра 1,7 м/с. Диапазон скоростей ветра, подходящий для работы, равен 2,5~25 м/с, а ветряная турбина достигает номинальной мощности, когда скорость ветра достигает 8 м/с. Когда скорость ветра достигает 40 м/с, ветряная турбина все еще может работать безопасно (таблица 1).

Таблица 1

Параметры ветряной турбины с вертикальной осью

Параметр	Данные
Мощность	500 В
Диаметр ветроколеса	2 м
Номинальная скорость	84,3 об/мин
Номинальная скорость ветра	8 м/с
Начальная скорость ветра	1,7 м/с
Рабочая скорость воздуха	2,5–25 м/с
Безопасная скорость ветра	40 м/с
Номинальная мощность	500 В

Обсуждение и заключения. Ветротурбина вертикального подъемного типа имеет низкие эксплуатационные требования. Установка вертикально-осевой ветровой турбины на верхнем этаже высотного здания позволяет полностью использовать потенциал энергии ветра. Ось вращения вертикально-осевой ветряной турбины перпендикулярна направлению ветра и не зависит от источника ветра. При постоянном изменении направления ветра вертикально-осевая ветровая турбина сохраняет нормальную и стабильную работу, что позволяет ей эффективно и безопасно работать в сложных и меняющихся ветровых условиях на верхних этажах высотных зданий. Экспериментальные данные, измеренные путем изменения величины ветра, когда скорость ветра достигает 1,7 м/с, показали, что ветротурбина с вертикальной осью может запуститься и работать нормально. При скорости ветра 40 м/с ветряная турбина все еще может работать безопасно.

Ветряные турбины с вертикальным подъемом полностью адаптированы к сложной и изменчивой ветровой среде на верхних этажах высотных зданий и могут работать безопасно и эффективно, обеспечивать постоянный поток чистой энергии для высотных зданий и превращать высотные здания из основного потребителя энергии в энергетически самодостаточные и даже стать экспортерами энергии, которые играют позитивную роль в снижении энергетического давления и улучшении состояния окружающей среды.

Список литературы

1. Яньбин Ц., Чжи Л. Проектирование ветряной турбины с вертикальной осью. *Machinery*. 2012;39:36–39. URL: http://www.jixiezazhi.com/index.aspx?menuid=5&type=articleinfo&lanmuid=52&infoid=7753&language=cn (дата обращения: 29.01.2023).

2. Вэй Ч. *Динамика ветротурбины с вертикальной осью типа H*. Ланьчжоу: Ланьчжоуский университет Цзяотон; 2021. URL: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=1021137285.nh&DbName=CMFD2022 (дата обращения: 21.01.2023).

3. Сяомин Ж., Чжин М., Чжуанмин К. Основной состав и аэродинамические характеристики ветрогенераторов с вертикальной осью, подключенных к сети. *Журнал солнечной энергетики*. 2007:28–31. URL: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=TYNZ200702013&DbName=CJFQ2007 (дата обращения: 21.01.2023).

4. Юньфэн С. *Проектирование и эксперимент ветротурбины с вертикальной осью*. Сельскохозяйственный университет Внутренней Монголии; 2008. URL: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=2008131823.nh&DbName=CMFD2008 (дата обращения: 21.01.2023).

5. Сюнь Н. *Исследование системы управления ветроэнергетикой с двойным питанием, основанной на адаптивном наблюдателе скорости*. Центрально-Южный университет; 2009. URL: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspxFileName=2009239374.nh&DbName=CMFD2010 (дата обращения: 19.01.2023).

6. Байлин Ф., Цзюньпэн В., Гоолян В. и др. Влияние числа лопастей на аэродинамические характеристики вентилятора с малой вертикальной осью. *Научно-технический бюллетень*. 2021;37:58–63. URL: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=KJTB202105012&DbName=DKFX2021 (дата обращения: 20.01.2023).

7. Дин В. *Исследование и проектирование автономной маломасштабной ветро-солнечной гибридной электростанции система генерации*. Университет Наньхуа; 2022. URL: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=1023450690.nh&DbName=CMFDTEMP (дата обращения: 20.01.2023).

8. Юаньсин Ч. *Исследование динамических напряженных характеристик лопаток ветротурбин под воздействием пневматической нагрузки*. Технологический университет Внутренней Монголии; 2021. URL: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=1021805608.nh&DbName=CDFD2022 (дата обращения: 19.01.2023).

9. Синьчэнь В. *Проектирование ветроэнергетической системы с вертикальной осью на основе Matlab_Simulink*. Сямыньский университет; 2008. URL: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=2009079413.nh&DbName=CMFD2009 (дата обращения: 20.01.2023).

10. Хуэйли В. *Проектирование и оптимизация конфигурации мощности малой ветровой и солнечной дополнительной системы выработки электроэнергии*. Университет Цзянсу; 2021. URL: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=1021684282.nh&DbName=CMFD2022 (дата обращения: 20.01.2023).

Reference

1. Yan'bin TS, Chzhi L. Proektirovanie vetryanoi turbiny s vertikal'noi os'yu. *Machinery*. 2012;39:36–39. Available at: http://www.jixiezazhi.com/index.aspx?menuid=5&type=articleinfo&lanmuid=52&infoid=7753&language=cn (accessed: 29.01.2023). (In Chinese).

2. Vehi CH. *Dinamika vetroturbiny s vertikal'noi os'yu tipa H. Lan'chzhou.* Lan'chzhouskii universitet Tszyaoton – Lanzhou Jiaotong University; 2021. Available at: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=1021137285.nh&DbName=CMFD2022 (accessed: 21.01.2023). (In Chinese).

3. Syaomin ZH, Chzhin M, Chzhuanmin K. Osnovnoi sostav i aehrodinamicheskie kharakteristiki vetrogeneratorov s vertikal'noi os'yu, podklyuchennykh k seti. *Zhurnal solnechnoi ehnergetiki – Journal of Solar Energy*. 2007:28–31. Available at: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=TYNZ200702013&DbName=CJFQ2007 (accessed: 21.01.2023). (In Chinese).

4. Yun'fehn S. *Proektirovanie i ehksperiment vetroturbiny s vertikal'noi os'yu*. Sel'skokhozyaistvennyi universitet Vnutrennei Mongolii – Inner Mongolia Agricultural University; 2008. Available at: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx? FileName=2008131823.nh&DbName=CMFD2008 (accessed: 21.01.2023). (In Chinese).

5. Syun' N. *Issledovanie sistemy upravleniya vetroehnergetikoi s dvoinym pitaniem, osnovannoi na adaptivnom nablyudatele skorosti*. Tsentral'no-Yuzhnyi universitet – Central South University; 2009. Available at: https://kns.cnki.net/kcms/detail/ detail.aspxFileName=2009239374.nh&DbName=CMFD2010 (accessed: 19.01.2023). (In Chinese).

6. Bailin F, Tszyun'pehn V, Goolyan V, Tszyamen TS, Khunvehi V, Sontszi' TS. Vliyanie chisla lopastei na aehrodinamicheskie kharakteristiki ventilyatora s maloi vertikal'noi os'yu. *Nauchno-tekhnicheskii byulleten' - Science and Technical Bulletin.* 2021;37:58–63. Available at: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=KJTB202105012&DbName=DKFX2021 (accessed: 20.01.2023). (In Chinese).

7. Din V. *Issledovanie i proektirovanie avtonomnoi malomasshtabnoi vetro-solnechnoi gibridnoi ehlektrostantsii sistema generatsii.* Universitet Nan'khua – Nanhua University; 2022. Available at: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=1023450690.nh&DbName=CMFDTEMP (accessed: 20.01.2023). (In Chinese).

8. Yuan'sin CH. *Issledovanie dinamicheskikh napryazhennykh kharakteristik lopatok vetroturbin pod vozdeistviem pnevmaticheskoi nagruzki*. Tekhnologicheskii universitet Vnutrennei Mongolii – Inner Mongolia University of Technology; 2021. Available at: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=1021805608.nh&DbName=CDFD2022 (accessed: 19.01.2023). (In Chinese).

9. Sin'chehn' V. *Proektirovanie vetroehnergeticheskoi sistemy s vertikal'noi os'yu na osnove Matlab_Simulink*. Syamyn'skii universitet – Xiamen University; 2008. Available: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=2009079413.nh&DbName=CMFD2009 (accessed: 20.01.2023). (In Chinese).

10. Khuehili V. *Proektirovanie i optimizatsiya konfiguratsii moshchnosti maloi vetrovoi i solnechnoi dopolnitel'noi sistemy vyrabotki ehlektroehnergii*. Universitet Tszyansu – Jiangsu University; 2021. Available at: https://kns.cnki.net/kcms/detail/detail.aspx?FileName=1021684282.nh&DbName=CMFD2022 (accessed: 20.01.2023). (In Chinese).

Об авторах:

Шеина Светлана Георгиевна, заведующая кафедрой «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), доктор технических наук, профессор, ScopusID, ORCID, rgsu-gsh@mail.ru

У Шисяо, аспирант по направлению «Технология и организация строительства» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, 1264950586@qq.com

Заявленный вклад соавторов:

У Шисяо — формирование основной концепции, методология исследования, подготовка текста, формирование выводов; С.Г. Шеина — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Поступила в редакцию 31.03.2023.
Поступила после рецензирования 17.04.2023.
Принята к публикации 17.04.2023.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Svetlana G Sheina, head of the Urban Construction and Utilities Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), D. Sc. (Engineering), professor, ScopusID, ORCID, rgsu-gsh@mail.ru

Wu Shixiao, PhD student of the study programme “Technology and organisation of construction”, Don State Technical university (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, 1264950586@qq.com

Claimed contributorship:

Wu Shixiao — formulating the main concept, research methodology, preparing the text, formulating conclusions; SG Sheina — scientific supervision, research results’ analysis, revision of the text, correction of the conclusions.

Received 31.03.2023.
Revised 17.04.2023.
Accepted 17.04.2023.

Conflict of interest statement

The authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.





УДК 697.34

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-29-35



Формирование принципов количественного регулирования параметров системы теплоснабжения на основе анализа ее жизненного цикла

А.Л. Тихомиров ✉, **А.П. Пирожникова**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

✉ a.l.tikhomirov@yandex.ru

Аннотация

Введение. Целью развития отрасли теплоснабжения является обеспечение повсеместного качественного, экономичного и надежного обеспечения теплом потребителя. Для перехода на более высокий уровень организации систем централизованного теплоснабжения с низкими потерями в сети и низким теплопотреблением абонентов необходимо использовать низкотемпературный теплоноситель. Оптимизация системы теплоснабжения на всех этапах ее жизненного цикла является приоритетной задачей для сектора теплоснабжения страны.

Материалы и методы. Разработка системы теплоснабжения должна производиться в соответствии с действующим сводом правил «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла». Жизненный цикл можно разделить на четыре этапа. Отмечается, что каждому типу цифровой информационной модели на каждом этапе жизненного цикла соответствует определенный уровень проработки, который представляет собой минимальное количество геометрических, пространственных, количественных и атрибутивных данных, необходимых для решения задачи информационного моделирования на конкретном этапе жизненного цикла объекта.

Результаты исследования. Основным направлением совершенствования развития теплоснабжающей отрасли должна стать разработка и внедрение новых технологий и цифровых информационных моделей, что позволит повысить уровень качества генерации, транспортировки и распределения тепловой энергии.

Обсуждение и заключения. Ветряные турбины с вертикальной осью идеально приспособлены к сложной и меняющейся ветровой обстановке на верхних этажах высотных зданий и могут эксплуатироваться безопасно и эффективно, внося положительный вклад в снижение энергетической нагрузки и улучшение состояния окружающей среды.

Ключевые слова: теплоснабжение, тепловая нагрузка, теплоноситель, теплопотери, методы регулирования тепловой нагрузки, количественное регулирование, цифровая информационная модель.

Для цитирования. Тихомиров А.Л. Пирожникова А.П. Формирование принципов количественного регулирования параметров системы теплоснабжения на основе анализа ее жизненного цикла. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(2):29–35. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-29-35

Original article

Creating Quantitative Regulation Principles of the Heating Networks' Param-eters Based on the Life Cycle Analysis

Aleksej L Tikhomirov ✉, **Anastasia P Pirozhnikova**

Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ a.l.tikhomirov@yandex.ru

Abstract

Introduction. The heating sector development is aimed at ensuring the high-quality, cost-efficient and reliable heat supply to the consumers everywhere. For transition of the district heating networks arrangement to the advanced level, charachterised by low heat losses and customers' low heat consumption, it is necessary to use a low-temperature heat carrying agent. Optimisation of the heating networks at all stages of the life cycle is the priority task for the national heating sector.

Materials and Methods. The elaboration of the heating networks should be carried out in compliance with the currently enacted Code of Practices "Information modeling in construction. Rules for the objects' information model creation at different stages of the life cycle». The life cycle can be divided into four stages. It is noted that each type of digital information model at each stage of the life cycle correlates with the certain level of elaboration, which envisages the minimum of geometric, spatial, quantitative and attributive data necessary to solve the task of information modeling at a specific stage of the object's life cycle.

Results. 4th generation heating supply technologies allow reducing the temperature of the heat-carrying agent, hereby creating conditions for commencing the heating net-works' transit to the low temperature type of systems. As a result, reducing the heat carrying agent's temperature, allows using more flexible polymer materials for the pipelines. In addition, application of the comprehensive approach to the heating networks innovative development is the important prerequisite for further development of the district heating infrastructure and technologies.

Discussion and Conclusions. The main focus for improving the heating sector development should lie in the elaboration and implementation of the new technologies and digital information models, which will improve the quality of thermal energy generation, transporta-tion and distribution.

Keywords: heat supply, heat load, heat carrying agent, heat loss, heat load regulation methods, quantitative regulation, digital information model.

For citation. Tikhomirov AL, Pirozhnikova AP. Creating Quantitative Regulation Principles of the Heating Networks' Parameters Based on the Life Cycle Analysis. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(2):29–35. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-29-35

Введение. В настоящее время в научных публикациях все чаще обсуждается переход систем теплоснабжения на уровень 4 поколения (4th Generation District Heating – 4GDH). Такие системы должны обеспечивать централизованное теплоснабжение с низкими потерями в сети и низким теплопотреблением абонентов [1–3]. Одним из существенных признаков данного уровня является переход на использование в системах низкотемпературного теплоносителя.

Переход с предшествующего уровня на более высокий носит эволюционный характер, и на определенном этапе система может обладать признаками, характерными для переходного периода.

Обеспечение абонентов систем централизованного теплоснабжения тепловой энергией необходимого качества и в необходимом объеме является сложной задачей, что определяется различием законов изменения во времени тепловых нагрузок потребителей, разнородностью нагрузок, значительной инерционностью систем.

Оптимизация работы систем теплоснабжения во всех ее звеньях и на всех этапах жизненного цикла является первоочередной задачей теплоэнергетики страны [4].

Материалы и методы. Проектирование системы теплоснабжения должно осуществляться в соответствии с СП 333.1325800.2020 «Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла».

Первым этапом жизненного цикла являются инженерные изыскания, в том числе — геодезические. Изыскания проводятся электронными геодезическими приборами, в результате чего получают трехмерную инженерную цифровую модель местности.

Вторым этапом является проектирование. Трехмерное проектирование тепловых сетей предусматривает учет смежных коммуникаций и сооружений. Проектирование осуществляется в CAD-программах, при этом топографической подложкой является инженерная цифровая модель местности. Авторы рекомендуют для проектирования линейных инфраструктурных объектов программу Geoni CS российского разработчика CS Development, работающую на платформе nanoCAD22.

Третьим этапом является строительство объектов системы с использованием цифровой рабочей документации. В ходе строительства, по согласованию с проектной организацией, могут быть внесены изменения в проектную документацию. Именно исполнительная документация является основой для создания цифровой эксплуатационной модели.

Следует отметить, что каждому типу цифровой информационной модели на каждом этапе жизненного цикла соответствует определенный уровень проработки — минимальный объем геометрических, пространственных, количественных, а также любых атрибутивных данных, необходимых для решения задач информационного моделирования на конкретной стадии жизненного цикла объекта [5].

Четвертый этап — создание эксплуатационной модели (6D-модель) в соответствии с классификацией СП 331.1325800.2017 «Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах». [6, 7] Передача данных

между моделями на различных этапах должна производиться в IFC-формате — формате отраслевых базовых классов данных с открытой спецификацией для совместного использования их в строительстве и управлении объектами с выполнением требований интероперабельности. В качестве эксплуатационного программного продукта предлагается использовать программный комплекс Zulu2021 с модулем ZuluThermo разработки отечественной компании «Политерм». Комплексом Zulu2021 на базе графической 3D-модели тепловой сети созданы топологические связи объектов системы теплоснабжения (с использованием теории графов). Последующее создание семантических баз данных по всем элементам системы приведет к созданию полноценной эксплуатационной 6D-модели. Важным моментом создания эксплуатационной модели является ее верификация на соответствие физическому аналогу. Верификация проводится с использованием данных измерений основных параметров в характерных точках физической системы теплоснабжения [8–15]. По мнению авторов, четвертый этап в жизненном цикле системы теплоснабжения является наиболее значимым.

Основные принципы организации эксплуатации систем централизованного теплоснабжения, в том числе методы регулирования тепловой нагрузки, в нашей стране разрабатывались в 50-е годы прошлого века. В качестве основного при проектировании систем теплоснабжения закладывался качественный метод центрального регулирования тепловой нагрузки, при котором расход сетевой воды остается постоянным, а тепловая нагрузка потребителей регулируется изменением температуры в подающей магистрали тепловой сети. При этом в крупных теплофикационных системах в большинстве случаев температура теплоносителя принималась 150 °C.

Другие методы регулирования, такие как количественный (изменение расхода теплоносителя) и качественно-количественный (одновременное изменение температуры и расхода теплоносителя в подающей магистрали), развития не получили. В настоящее время вследствие бурного развития техники и технологий частотного регулирования производительности сетевых насосов источников тепла созданы условия для эффективного использования преимуществ количественного и качественно-количественного методов регулирования тепловой нагрузки в системах централизованного теплоснабжения.

Подробный сравнительный анализ преимуществ и недостатков различных методов регулирования тепловой нагрузки приведен в [16].

Следует выделить и рассмотреть очевидные преимущества количественного регулирования тепловой нагрузки.

1. *Экономия электрической энергии при транспорте теплоносителя.*

При любом способе регулирования для целей отопления на источнике тепла должно быть выработано и отпущено потребителям количество тепла, с учетом транспортных потерь, полностью компенсирующее теплопотери потребителей. При соблюдении норм по теплоустойчивости зданий эти теплопотери являются функцией климатических факторов для данной местности. При качественном регулировании расход теплоносителя определяется по максимальным тепловым нагрузкам отопления, горячего водоснабжения и вентиляции. В дальнейшем, на стадии проектирования, по нему определяются диаметры трубопроводов, подбираются сетевые насосы, а на стадии эксплуатации осуществляется максимальная перекачка теплоносителя в течение всего отопительного сезона вне зависимости от температуры наружного воздуха. Снизить объем транспортируемого теплоносителя можно при применении количественного метода регулирования.

На рис. 1 приведен график расходования мощности электродвигателем при качественном и количественном способах регулирования в течение отопительного сезона (продолжительность стояния наружных температур в отопительном периоде приведена в часах на горизонтальной оси).

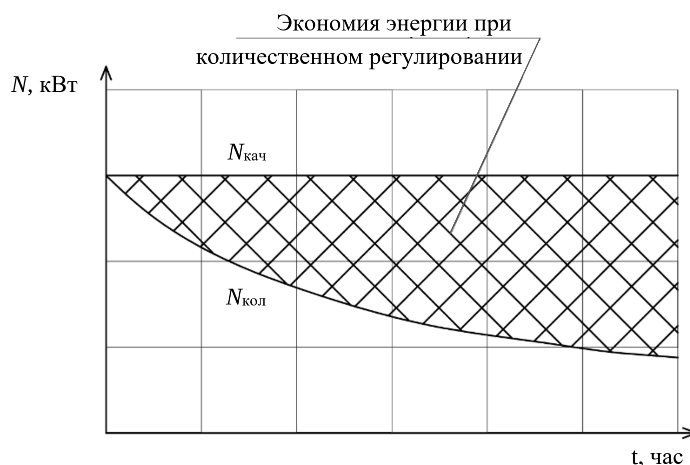


Рис. 1. График расходования мощности электродвигателем сетевого насоса

Горизонтальная линия $N_{кач}$ — затрачиваемая мощность при качественном регулировании. Расход теплоносителя постоянен и не зависит от наружной температуры. Линия $N_{кол}$ — зависимость затрачиваемой мощности насоса от наружной температуры (расход теплоносителя является функцией температуры наружного воздуха). Площади под линиями — затраченная электроэнергия (кВт·час) в рассматриваемом периоде. Разность между рассматриваемыми площадями (заштрихованный участок) — экономия электроэнергии при применении количественного метода регулирования. Из сравнения графиков видно, что при количественном регулировании тепловой нагрузки потребляемая мощность зависит от температуры наружного воздуха и будет всегда ниже, чем при качественном регулировании. Следует отметить, что для южных регионов России средняя температура отопительного сезона значительно выше расчетной, принимаемой при проектировании систем теплоснабжения, что позволяет достигать экономии электроэнергии при транспорте теплоносителя до 60 %.

2. *Меньшая инерционность регулирования тепловой нагрузки*.

Качественное регулирование тепловой нагрузки осуществляется в соответствии с температурным графиком, рассчитываемым для климатических условий конкретной местности. В данном случае требуется прогноз региональной метеослужбы по температуре наружного воздуха. Данные прогноза по температуре передаются на управляющий орган производительностью теплогенератора. При создании управляющего сигнала должны быть предусмотрены инерционность тепловых процессов в генераторе тепла, а также время прохождения температурной волны от источника тепла до конечного абонента системы (определяется скоростью движения теплоносителя).

При регулировании тепловой нагрузки количественным методом входным сигналом также является метеопрогноз. Однако сгенерированный выходной сигнал подается на орган управления частотно-регулируемого электропривода сетевых насосов. Существенным преимуществом данного метода регулирования является практически полное отсутствие инерционности, так как создаваемое воздействие распространяется со скоростью распространения звука в воде.

3. *Постоянная температура теплоносителя в подающей магистрали.*

Исключает механическое воздействие на компенсаторы, неподвижные опоры, стенки трубопроводов при линейном температурном удлинении при изменении температуры теплоносителя и, как следствие, их механическое разрушение. Это позволит значительно снизить аварийность на тепловых сетях и повысить надежность и качество теплоснабжения.

4. *Возможность снижения температуры теплоносителя в подающей магистрали.*

Данный фактор создает ряд дополнительных преимуществ:

– снижение тепловых потерь при транспорте теплоносителя;

– отсутствие необходимости в смесительных устройствах на абонентских вводах при зависимой схеме подключения систем отопления.

Снижение температуры в подающей магистрали до уровня 110 °С и ниже допускает применять полимерные трубопроводы, что позволяет в полной мере использовать преимущества полимерных материалов:

– отсутствие наружной и внутренней коррозии;

– низкая абсолютная эквивалентная шероховатость;

– практическое отсутствие зарастания;

– низкое гидравлическое сопротивление;

– возможность для некоторых отечественных конструкций трубопроводов отказаться от применения компенсаторов.

Уровень снижения температуры в подающем трубопроводе определяется термостойкостью применяемого полимерного материала, а также технико-экономическим обоснованием.

Следует отметить, что для получения максимального эффекта от выбора способа количественного регулирования тепловой нагрузки все элементы системы теплоснабжения (источник, тепловые сети и абоненты) должны быть спроектированы с учетом принятого метода регулирования. Выбор метода количественного регулирования должен быть учтен при проведении гидравлического расчета тепловых сетей, подборе сетевых насосов и обязательной комплектацией насосной группы устройствами частотного регулирования производительности насосов. Выбор материала труб и конструкции теплопроводов в целом производится в зависимости от принятой в системе температуры теплоносителя.

Результаты исследования. Развитие техники и технологий частотного регулирования производительности сетевых насосов источников тепла создало условия для эффективного использования преимуществ количественного и качественно-количественного методов регулирования тепловой нагрузки в системах централизованного теплоснабжения, таких как экономия электрической энергии при транспорте теплоносителя, меньшая инерционность регулирования тепловой нагрузки, возможность снижения температуры теплоносителя в подающей магистрали. Снижение температуры теплоносителя создает условия к началу перехода системы теплоснабжения в

разряд низкотемпературных систем, т.е. к системам 5-го поколения. Одновременно снижение температуры теплоносителя позволит использовать трубопроводы из полимерных материалов и, как следствие, присущие им преимущества перед стальными трубопроводами. В работе показано, какие технические изменения вносятся в систему теплоснабжения при выборе количественного регулирования тепловой нагрузки вместо качественной в различных периодах ее жизненного цикла.

Обсуждение и заключения. Рассмотрена техническая возможность применения в системах теплоснабжения количественного регулирования тепловой нагрузки с использованием всех технологических преимуществ данного метода. Предложено на всех этапах жизненного цикла системы теплоснабжения разрабатывать цифровую информационную модель каждого элемента системы теплоснабжения, учитывающую все особенности применения количественного метода регулирования тепловой нагрузки и возможности низкотемпературного теплоснабжения.

Список литературы

1. Lund H., Werner S., Wiltshire R., Svendsen S., et al. 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*. 2014;68:1–11. https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089

2. Lund H., Ostergaard P.A., Nielsen T.B., et al. Perspectives on fourth and fifth generation district heating. *Energy*. 2021;227. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.12052

3. Петрова И.Ю., Музафаров Р.Р. Системы централизованного теплоснабжения для умных городов. *Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал*. 2021;4(38):90–95.

4. Пасичко С.И., Халецкая Е.А., Колиенко А.Г. Системы теплоснабжения. Выбор оптимальных направлений развития. *Новости теплоснабжения*. 2002;8(24). URL: http://www.ntsn.ru/8_2002.html

5. Кислов Д.К., Рябенко М.С., Рафальская Т.А. Разработка системы интеллектуального теплоснабжения на базе информационной сети Zulu. *Энергосбережение и водоподготовка*. 2018;2(112):55–59.

6. Шишкин А.В., Мешалова П.В., Зенин С.А. и др. Создание цифрового двойника тепловой сети в различных программных комплекса. *Надежность и безопасность энергетики*. 2022;15(3):166–174. https://doi.org/10.24223/1999-5555-2022-15-3-166-174

7. Zheng X., Sun Q., Wang Y., et al. Thermo-hydraulic coupled simulation and analysis of a real large-scale complex district heating network in Tianjin. *Energy*. 2021;236. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121389

8. Zheng J., Zhou Z., Zhao J., Wang J. Function method for dynamic temperature simulation of district heating network. *Applied Thermal Engineering*. 2017;123:682–688. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.05.083

9. Falay B., Schweiger G., O'Donovan K., Leusbrock I. Enabling large-scale dynamic simulations and reducing model complexity of district heating and cooling systems by aggregation. *Energy*. 2020;209. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118410

10. Barone G., Buonomano A., Forzano C., Palombo A. A novel dynamic simulation model for the thermo-economic analysis and optimisation of district heating systems. *Energy Conversion and Management*. 2020;220. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113052

11. Larsen H.V., Palsson H., Bohm B., Ravn H.F. Aggregated dynamic simulation model of district heating networks. *Energy Conversion and Management*. 2002;43(8):995–1019. https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00093-0

12. Hussein A., Klein A. Modelling and validation of district heating networks using an urban simulation platform. *Applied Thermal Engineering*. 2021;187. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116529

13. Badami M., Fonti A., Carpignano A., Grosso D. Design of district heating networks through an integrated thermo-fluid dynamics and reliability modelling approach. *Energy*. 2018;144:826–838. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.071

14. Schweiger G., Larsson P.O., Magnusson F., et al. District heating and cooling systems — Framework for Modelica-based simulation and dynamic optimization. *Energy*. 2017;137:566–578. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.115

15. Тихомиров А.Л., Ананьев Н.А. Верификация электронной модели тепловой сети по параметру «Эквивалентная абсолютная шероховатость». *Инженерный вестник Дона*. 2020;3. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2020/6358

16. Шарапов В.И., Ротов П.В. *Регулирование нагрузки систем теплоснабжения*. Москва: Новости теплоснабжения; 2007. 164 с.

References

1. Lund H, Werner S, Wiltshire R, Svendsen S, et al. 4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems. *Energy*. 2014;68:1–11. https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089

2. Lund H, Ostergaard PA, Nielsen TB, et al. Perspectives on fourth and fifth generation district heating. *Energy*. 2021;227. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.12052

3. Petrova IY, Muzafarov RR. Centralized Heat Supply Systems for Smart Cities. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region: Scientific Journal*. 2021;4(38):90–95. (In Russ.).

4. Pasichko SI, Khaleckaya EA, Kolienko AG. Sistemy teplosnabzheniya. Vybor optimal'nykh napravlenij razvitiya. *Novosti teplosnabzheniya*. 2002;8(24). URL: http://www.ntsn.ru/8_2002.html (In Russ.).

5. Kislov DK, Ryabenko MS, Rafal'skaya TA. System Engineering Of The Intellectual Heat Supply On The Basis Of Information Network Zulu. *Energy saving and water treatment*. 2018;2(112):55–59. (In Russ.).

6. Shishkin AV, Meshalova PV, Zenin SA, et al. Development of a Digital Twin of the Heating Network in Various Software Systems. *Safety and Reliability of Power Industry*. 2022;15(3):166–174. https://doi.org/10.24223/1999-5555-2022-15-3-166-174 (In Russ.).

7. Zheng X, Sun Q, Wang Y, et al. Thermo-hydraulic coupled simulation and analysis of a real large-scale complex district heating network in Tianjin. *Energy*. 2021;236. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121389

8. Zheng J, Zhou Z, Zhao J, Wang J. Function method for dynamic temperature simulation of district heating network. *Applied Thermal Engineering*. 2017;123:682–688. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.05.083

9. Falay B, Schweiger G, O'Donovan K, Leusbrock I. Enabling large-scale dynamic simulations and reducing model complexity of district heating and cooling systems by aggregation. *Energy*. 2020;209. https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118410

10. Barone G, Buonomano A, Forzano C, Palombo A. A novel dynamic simulation model for the thermo-economic analysis and optimisation of district heating systems. *Energy Conversion and Management*. 2020;220. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113052

11. Larsen HV, Palsson H, Bohm B, Ravn HF. Aggregated dynamic simulation model of district heating networks. *Energy Conversion and Management*. 2002;43(8):995–1019. https://doi.org/10.1016/S0196-8904(01)00093-0

12. Hussein A, Klein A. Modelling and validation of district heating networks using an urban simulation platform. *Applied Thermal Engineering*. 2021;187. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116529

13. Badami M, Fonti A, Carpignano A, Grosso D. Design of district heating networks through an integrated thermo-fluid dynamics and reliability modelling approach. *Energy*. 2018;144:826–838. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.12.071

14. Schweiger G, Larsson PO, Magnusson F, et al. District heating and cooling systems — Framework for Modelica-based simulation and dynamic optimization. *Energy*. 2017;137:566–578https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.05.115

15. Tihomirov AL, Anan'ev NA. Verification of the Electronic Model of the Thermal Network by “Equivalent Absolute Roughness”. *Engineering Journal of Don*. 2020;3. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2020/6358 (In Russ.).

16. Sharapov VI, Rotov PV. *Regulirovanie nagruzki sistem teplosnabzheniya*. Moscow: Novosti teplosnabzheniya; 2007. 164 p. (In Russ.).

Об авторах:

Тихомиров Алексей Леонидович, доцент кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ORCID, a.l.tikhomirov@yandex.ru

Пирожникова Анастасия Петровна, старший преподаватель кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, anastasiapir@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

А.Л. Тихомиров — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, подготовка текста, формирование выводов. А.П. Пирожникова — анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Поступила в редакцию 02.02.2023.
Поступила после рецензирования 24.02.2023.
Принята к публикации 28.02.2023.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Aleksej L Tikhomirov, associate professor of the Environmental Engineering Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sc. (Engineering), assoc. prof., ORCID, a.l.tikhomirov@yandex.ru

Anastasia P Pirozhnikova, senior lecturer of the Environmental Engineering Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, anastasiapir@mail.ru

Claimed contributorship:

AL Tikhomirov — designing the main concept, goals and objectives of the study, preparing the text, formulating conclusions. AP Pirozhnikova — analysis of research results, text refinement, adjustment of conclusions.

Received 02.02.2023.
Revised 24.02.2023.
Accepted 28.02.2023.

Conflict of interest statement

The authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.




УДК 69.05

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-36-41



Аспекты повышения организационно-технологической надежности в строительстве

О.А. Побегайлов[1] ✉, А.А.Р.А. Аль-Мсари[2], А.Д. Талалаев[1]

[1] Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

[2] Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4

✉ opobegaylov@mail.ru

Аннотация

Введение. На сегодняшний день перед строительными организациями стоит проблема в повышении качества готового строительного объекта при уменьшении затрат на его производство. Этот вопрос поднимается российскими и зарубежными учеными, занимающимися изучением темы организационно-технологической надежности строительства. Однозначно, в теоретической части анализа данной темы дела обстоят достаточно хорошо. Но организационно-технологическая надежность предусматривается не для теоретических исследований, а для применения на практике. И если раньше под организационно-технологической надежностью понималось соответствие объекта техническим стандартам и нормам, то сейчас многие нормы устарели. Соответственно, необходимо участие государственных органов для создания новой и постоянного обновления имеющейся нормативно-технической базы в области организационно-технологической надежности. Так, до сих пор потери времени в строительстве составляют до 30 % от общей продолжительности строительства. Задачей данного исследования является рассмотрение имеющихся на сегодняшний день методов повышения организационно-технологической надежности строительства и предложение по усовершенствованию ее с целью сокращения сроков строительства.

Материалы и методы. Приводятся методы определения организационно-технологической надежности в настоящее время. Дается краткое описание основных методов. Более подробно описывается метод, предложенный авторами организациям при строительстве многоквартирных домов. Метод заключается во внедрении и использовании системы менеджмента качества на предприятии.

Результаты исследования. Определена главная цель для таких предприятий, а также даны рекомендации по внедрению системы по принципу «сверху вниз». Дополнена и изображена модель системы менеджмента качества. Предложен циклический поток, при котором потребитель при удовлетворении своих потребностей повторно обращается к данному производителю при вновь возникающей потребности в данной продукции, а производитель, в свою очередь, все время совершенствуют свою систему менеджмента качества.

Обсуждение и заключения. Полученная в ходе исследования модель системы менеджмента качества должна помочь предприятиям повысить организационно-технологическую надежность своей продукции путем ориентации на потребителя и завоевать большую долю рынка.

Ключевые слова: строительство, надежность, организация, методы, качество, циклический поток, конкурентоспособность.

Благодарности. Авторы выражают благодарность рецензентам, чья критическая оценка представленных материалов и высказанные предложения по их совершенствованию способствовали значительному повышению качества настоящей статьи.

Для цитирования: Побегайлов О.А., Аль-Мсари А.А.Р.А., Талалаев А.Д. Аспекты повышения организационно-технологической надежности в строительстве. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(2):36–41. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-36-41

Original article

Aspects of Improving the Organisational and Technological Reliability in Construction

Oleg A Pobegaylov[1] ✉, **Ahmad Abdul Ruda Auda Al-Masri**[2], **Alexander D Talalaev**[1]

[1] Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation

[2] St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, 4, 2-nd Krasnoarmeyskaya St., Saint-Petersburg, Russian Federation

✉ opobegaylov@mail.ru

Abstract

Introduction. Today, the construction enterprises face the problem of improving quality of a completed object of construction while reducing the cost of its production. This question is raised by Russian and foreign scientists studying the issue of organisational and technological reliability in construction. The analysis of the theoretical background of this topic clearly shows a quite positive situation. However, the organisational and technological reliability is intended not for theoretical research, but for practical application. If in the past the organisational and technological reliability was understood as the compliance of a facility with the technical standards and norms, this is not longer the point because many of the norms got outdated. Accordingly, it is necessary to include the state bodies in the process of creation the new and constant updating of the existing regulatory and technical data base in the field of organisational and technological reliability. Time losses in construction still reach up to 30% of the total period of construction. The objective of the present study is to investigate the currently available methods of enhancing the organisational and technological reliability in construction and to make suggestions on its improvement aimed at reducing the construction timeline.

Materials and Methods. The current methods of determining the organisational and technological reliability are presented. A brief description of the main methods is provided. The method proposed by the authors to the enterprises for application in construction of the residential houses is described in more detail. The method consists in the implementation and use of the enterprise quality management system.

Results. The main goal for such enterprises has been defined and recommendations on implementation of the "top-down" system have been provided. The quality management system model has been supplemented and plotted. A cyclical flow has been proposed, where a consumer looking to satisfy his needs, turns again to the same manufacturer whenever he has a new need for this product, and the manufacturer, in turn, constantly improves its quality management system.

Discussion and Conclusions. The quality management system model worked out in the course of the present research should help the enterprises to improve the organisational and technological reliability of their products by focusing on the consumer and to gain a larger share in the market.

Acknowledgements. The authors are grateful to the reviewers, whose critical evaluation of the presented materials and suggestions for their improvement contributed to a significant enhancement of the quality of this article.

Keywords: construction, reliability, enterprise, methods, quality, cyclical flow, competitiveness.

For citation. Pobegaylov OA, Al-Masri AR.A, Talalaev AD. Aspects of Improving the Organisational and Technological Reliability in Construction. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(2):36–41. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-36-41

Введение. При строительстве зданий и сооружений перед строительными организациями стоит главная цель — повышение качества готового продукта при одновременном уменьшении затрат на ресурсообеспечение при любых неблагоприятных изменениях внешней и внутренней среды организации. Поэтому важной задачей, решаемой организациями строительного комплекса, является обеспечение организационно-технологической надежности строительства.

Понятие организационно-технологической надежности строительства обширное и включает в себя решения технического, организационного, технологического, экономического, управленческого, социального, природно-климатического характера, начиная с разработки проектной документации и заканчивая вводом объекта в эксплуатацию, для реализации строительного проекта по заданным параметрам в установленные сроки [1, 2].

Оценку организационно-технологической надежности можно произвести через подсчет количественных показателей, таких как своевременность доставки материалов, изделий, конструкций, оборудования на строительную площадку, их качество, требуемый уровень квалификации персонала, производительность работ, природно-климатические условия и др. Соответствие сроков и объемов выполненных работ возможно оценить по разработанному календарному плану [1–3].

По теории надежности отказ — это событие, при котором происходит частичное или полное нарушение работоспособности всего объекта или его части. При строительстве объектов отказы происходят при воздействии случайных факторов. При анализе причин отказов в строительстве будем брать во внимание их случайный или систематический характер. Случайную причину работник может устранить на строительной площадке самостоятельно без остановки производственного процесса. Систематическую причину устранить возможно только при остановке строительного процесса. Большинство отказов в строительстве относятся к случайным [4].

Организационно-технологическая работа строительного производства — это система, которую характеризует вероятность наступления отказа. Противоположное этому событию понятие — безотказность работы системы. В общем случае сумма вероятности их наступления равна 1.

Критерием организационно-технологической надежности является коэффициент готовности, который характеризуется отношением времени безотказной работы строительного производства к отказам в определенный промежуток времени в течение небольшого количества лет после ввода объекта в эксплуатацию [5, 6].

Материалы и методы. О методах повышения организационно-технологической надежности заговорили в конце 80-х годов XX века. Среди предложенных методов были такие, как использование единых норм и расценок и правила проектирования и организации строительства, устранение причин отказов, разработка организационно-технологической документации для уменьшения сроков строительства.

В настоящее время предложены различные методы повышения организационно-технологической надежности. К ним можно отнести применение нормативов, учитывающих территориальное деление территории, на которой происходит строительство (данный метод уходит в прошлое, т. к. нормативы в некоторых регионах страны решено было отменить и перейти на федеральные нормативы). К более современным методам можно отнести использование логистики, внедрение системы управления качеством, управление рисками, разработку имитационных моделей, имитирующих процесс строительства в цифровом виде с построением графиков продолжительности строительства, затрат труда, а также расчетом уровня организационно-технологической надежности [7, 8].

Использование логистики при строительстве объектов позволяет заметно снизить потенциальные отказы, связанные с низким качеством строительных материалов, изделий и конструкций, или достичь их полного отсутствия в регионе, а также исключить несоблюдение сроков поставки строительных материалов [7].

Применение имитационных моделей дает возможность провести анализ времени, затраченного на конкретную операцию и на весь объект в целом [9, 10].

Использование системы менеджмента качества, основанной на международных стандартах, позволяет внедрять такие инструменты, как переделка некачественной продукции, устранение брака, использование новых технологий [11–13].

Результаты исследования. Нами была изучена система менеджмента качества в строительных организациях Центрального и Южного федерального округов России, занимающихся возведением новых объектов жилищного строительства, и выявлены существующие на данный момент проблемы в данном направлении.

Пока еще сохраняющийся высокий спрос на строительную продукцию, а именно объекты недвижимости, не стимулирует, а, наоборот, уменьшает стремления руководителей строительных компаний развивать систему менеджмента качества в организации. И единственный метод повышения качества — это контроль. Но данный инструмент противоречит самой системе менеджмента качества. А один из главных принципов данной системы состоит в вовлеченности компетентного персонала на всех уровнях производства [12, 13]. Для решения поставленной задачи предлагаем внедрять на предприятии строительного комплекса систему менеджмента качества по принципу «сверху вниз», от руководителей высшего звена к руководителям среднего и нижнего звеньев, рядовым работникам, которые объединяются в команду с общей целью. При этом организация является динамичной системой с тесными связями между отделами, сотрудниками. Они объединены общей целью — постоянным улучшением качества готовой продукции. В таких организациях наряду с анализом финансовой деятельности должен проводиться анализ качества готовой продукции, удовлетворенность потребителя ею, мониторинг показателей деятельности [9, 14, 15].

Модель системы менеджмента качества изображена на рис. 1.



Рис. 1. Менеджмент качества как элемент организационно-технологической надежности строительства

На данной модели пунктирными линиями обозначены потоки информации от потребителя к исполнителю, сплошными линиями — деятельность, добавляющая ценность. Эта модель описана в ГОСТР ИСО 9000-2001. Добавим связь от удовлетворенности к требованиям. Получим циклический поток, при котором потребитель при удовлетворении своих потребностей вновь обращается к данному производителю при вновь возникающей потребности в данной продукции, а производитель, в свою очередь, всё время совершенствуют свою систему менеджмента качества.

Обсуждение и заключения. По итогам проведенного исследования можно сделать следующий вывод. Применяя систему менеджмента качества на предприятии как один из методов повышения организационно-технологической надежности в строительстве, организация берет правильный вектор для экономического развития в своей отрасли, конкурентоспособности и увеличения доли на рынке, расширения собственного производства.

Список литературы

1. Брайла Н.В., Лазарев Ю.Г., Романович М.А. и др. *Современные проблемы строительной науки, техники и технологии*. Санкт-Петербург: СПбПУ; 2017. 141 с. https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/s17-50

2. Бурчик В.В., Кузьмич Н.П. К вопросу об организационно-технологической надежности как составляющей организационно-экономической надежности строительства. *Транспортное дело России*. 2019;3:105–107.

3. Побегайлов О.А., Жданов А.Н., Мохаммед Х.А.М. и др. *Оценка организационно-технологической надежности строительства методом имитационного моделирования. Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования*. В: Материалы II Всерос. науч.-практ. конф. Чебоксары; 2021. С. 81–85.

4. Хафизов Т.М., Байбурин А.Х. Строительство подземного многоэтажного сооружения методом опускающегося бетона (в порядке обсуждения). *Промышленное и гражданское строительство*. 2020;6:57–63. https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.06.57-63

5. Никоноров С.В., Мельник А.А. Повышение организационно-технологической надежности строительства в современных условиях. *Вестник ЮУрГУ*. 2019;19(3):19–23. https://doi.org/10.14529/build190303

6. Мартыш А.А., Мартыш А.П., Павлов Ф.И. и др. Анализ организационно-технологической надежности на уровне определения временных параметров календарного плана. *Вісник придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2019;2(251-252):21–28. https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.280519.21.431

7. Сокольников В.В. Декомпозиция проблемы обеспечения организационно-технологической надежности строительства на основе классификации определений понятийного поля «организация строительства». *Вестник гражданских инженеров*. 2019;3(74):87–93. https://doi.org/10.23968/1999-5571-2019-16-3-87-93

8. Шрейбер К.А., Шрейбер К.К. Организационно-технологическая подготовка мероприятий по обеспечению надежности зданий. *Промышленное и гражданское строительство*. 2020;3:42–46. https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.03.42-46

9. Филь О.А., Зантария Л.Т. Методика оперативного планирования инвестиционно-строительного проекта на базе прогнозирования учета стоимости. *Вестник евразийской науки*. 2022;14(5).

10. Зеленцов Л.Б., Цапко К.А., Беликова И.Ф. и др. Современные методы оценки организационно-технологической надежности инвестиционно-строительного комплекса. *Инженерный вестник Дона*. 2020;9. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2020/6602

11. Зеленцов Л.Б., Акопян Н.Г. *Создание системы менеджмента качества в строительстве в условиях саморегулирования.* В: Материалы междунар. науч.-практич. конф. «Строительство-2015: Современные проблемы строительства». Ростов-на-Дону; 2015. С. 230–232.

12. Лапидус А.А., Сафарян Г.Б. Методические принципы оценки надежности организационно-технологических решений производственно-логистических процессов. *Наука и бизнес: пути развития*. 2019;5:164–167.

13. Колесниченко-Янушев С.Л., Токарев М.А. *Организационные проблемы применения системы менеджмента качества на предприятиях промышленного и гражданского строительства*. В: Сборник материалов межвузовской научно-практической конференции «Управление качеством в интересах устойчивого развития». Санкт-Петербург; 2019. С. 60–65. https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/id19-149

14. Собко В.А., Гусарь Т.В. *Особенности менеджмента качества в строительстве*. В: Материалы IX Всероссийской науч.-тех. конф. молодых исследователей «Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности». Волгоград; 2022. С. 375–377.

15. Зеленцов Л.Б., Зеленцов А.Л., Островский К.Н. Оптимизация модели системы менеджмента качества в строительстве. *Научное обозрение*. 2013;11:221–224.

References

1. Braila NV, Lazarev YG, Romanovich MA, et al. *Sovremennye problemy stroitel'noi nauki, tekhniki i tekhnologii.* St. Petersburg: SPbPU Publ.; 2017. 141 p. https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/s17-50 (In Russ.).

2. Burchik VV, Kuz'mich NP. K voprosu ob organizatsionno-tekhnologicheskoi nadezhnosti kak sostavlyayushchei organizatsionno-ehkonomicheskoi nadezhnosti stroitel'stva. *Transportnoe delo Rossii – Transport business of Russia.* 2019;3:105–107. (In Russ.).

3. Pobegailov OA, Zhdanov AN, Mokhammed KAM, et al. *Otsenka organizatsionno-tekhnologicheskoi nadezhnosti stroitel'stva metodom imitatsionnogo modelirovaniya. Sovremennaya nauka i obrazovanie: novye podkhody i aktual'nye issledovaniya.* In: Materialy II Vseros. auch.-prakt. konf. – Materials of the 2nd All-Russian Science and Practical Conference. Cheboksary; 2021. P. 81–85. (In Russ.).

4. Khafizov TM, Baiburin AK. Stroitel'stvo podzemnogo mnogoehtazhnogo sooruzheniya metodom opuskayushchegosya betona (v poryadke obsuzhdeniya). *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and Civil Engineering*. 2020;6:57–63. https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.06.57-63 (In Russ.).

5. Nikonorov S.V., Mel'nik A.A. Povyshenie organizatsionno-tekhnologicheskoi nadezhnosti stroitel'stva v sovremennykh usloviyakh. *Vestnik YUUrGU – Bulletin of SUSU.* 2019;19(3):19–23. https://doi.org/10.14529/build190303 (In Russ.).

6. Martysh AA, Martysh AP, Pavlov FI, et al. Analiz organizatsionno-tekhnologicheskoi nadezhnosti na urovne opredeleniya vremennykh parametrov kalendarnogo plana. *Visnik pridniprovs'koї derzhavnoї akademiї budivnitstva ta arkhitekturi*. 2019;2(251-252):21–28. https://doi.org/10.30838/J.BPSACEA.2312.280519.21.431 (In Russ.).

7. Sokol'nikov VV. Dekompozitsiya problemy obespecheniya organizatsionno-tekhnologicheskoi nadezhnosti stroitel'stva na osnove klassifikatsii opredelenii ponyatiinogo polya «organizatsiya stroitel'stvA». *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2019;3(74):87–93. https://doi.org/10.23968/1999-5571-2019-16-3-87-93 (In Russ.).

8. Shreiber KA, Shreiber KK. Organizatsionno-tekhnologicheskaya podgotovka meropriyatii po obespecheniyu nadezhnosti zdanii. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and Civil Engineering*. 2020;3:42–46. https://doi.org/10.33622/0869-7019.2020.03.42-46 (In Russ.).

9. Fil' OA, Zantariya LT. Metodika operativnogo planirovaniya investitsionno-stroitel'nogo proekta na baze prognozirovaniya ucheta stoimosti. *Vestnik evraziiskoi nauki – Eurasian Scientific Journal*. 2022;14(5). (In Russ.).

10. Zelentsov LB, Tsapko KA, Belikova IF, et al. Sovremennye metody otsenki organizatsionno-tekhnologicheskoi nadezhnosti investitsionno-stroitel'nogo kompleksa. *Inzhenernyi vestnik Dona – Engineering journal of Don.* 2020;9. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2020/6602 (In Russ.).

11. Zelentsov LB, Akopyan NG. *Sozdanie sistemy menedzhmenta kachestva v stroitel'stve v usloviyakh samoregulirovaniya.* In: Materialy mezhdunar. nauch.-praktich. konf. "Stroitel'stvo-2015: Sovremennye problemy stroitel'stva" - Materials of the International Science and Practical Conference "Construction-2015: Modern Problems of Construction". Rostov-on-Don; 2015. P. 230–232. (In Russ.).

12. Lapidus AA, Safaryan GB. Metodicheskie printsipy otsenki nadezhnosti organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenii proizvodstvenno-logisticheskikh protsessov. *Nauka i biznes: puti razvitiya – Science and Business: Ways of Development.* 2019;5:164–167. (In Russ.).

13. Kolesnichenko-Yanushev SL, Tokarev MA. *Organizatsionnye problemy primeneniya sistemy menedzhmenta kachestva na predpriyatiyakh promyshlennogo i grazhdanskogo stroitel'stva*. In: Sbornik materialov mezhvuzovskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Upravlenie kachestvom v interesakh ustoichivogo razvitiya" – Collection of papers of the interuniversity scientific and practical conference "Quality Management for Sustainable Development. St.Petersburg; 2019. P. 60–65. https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/id19-149 (In Russ.).

14. Sobko VA, Gusar' TV. *Osobennosti menedzhmenta kachestva v stroitel'stve*. In: Materialy IX Vserossiiskoi nauch.-tekh. konf. molodykh issledovatelei "Aktual'nye problemy stroitel'stva, ZHKKH i tekhnosfernoi bezopasnosti" - Materials of the IX All-Russian Scientific and Technical Conference of Young Researchers "Topical Problems of Construction, Housing and Communal Services and Technosphere Safety". Volgograd; 2022. P. 375–377. (In Russ.).

15. Zelentsov LB, Zelentsov AL, Ostrovskii KN. Optimizatsiya modeli sistemy menedzhmenta kachestva v stroitel'stve. *Nauchnoe obozrenie – Scientific Review*. 2013;11:221–224. (In Russ.).

Об авторах:

Побегайлов Олег Анатольевич, доцент кафедры «Организация строительства» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат экономических наук, доцент, ScopusID, ORCID, opobegaylov@mail.ru

Аль-Мсари Ахмед Абдул Руда Ауда, аспирант Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (190005, РФ, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4), ORCID, ahmed4_33@rambler.ru

Талалаев Александр Денисович, магистрант Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, al.tllv@list.ru

Заявленный вклад соавторов:

О.А. Побегайлов — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов; А.А.Р.А. Аль-Мсари — формирование цели и задач исследования, подготовка текста, формирование выводов; А.Д. Талалаев — подбор и анализ литературы по теме исследования.

Поступила в редакцию 14.03.2023.
Поступила после рецензирования 22.03.2023.
Принята к публикации 27.03.2023.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Oleg A Pobegaylov, associate professor of the Construction Management Department, Don State Technical University (1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sc. (Economics), associate professor, ScopusID, ORCID, opobegaylov@mail.ru

Ahmad Abdul Ruda Auda Al-Masri, PhD student, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (4, 2-nd Krasnoarmeyskaya St., St. Petersburg, 190005, RF), ORCID, ahmed4_33@rambler.ru

Alexander D Talalaev, master's student, Don State Technical University (1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, al.tllv@list.ru

Claimed contributorship:

OA Pobegaiylov — scientific supervision, research results' analysis, revision of the text, correction of the conclusions; AARA Al-Msari — formulating the aim and objectives of the study, preparing the text, formulating the conclusions; AD Talalaev — selection and analysis of the literature on the topic of research.

Received 14.03.2023.
Revised 22.03.2023.
Accepted 27.03.2023.

Conflict of interest statement

The authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.





УДК 69.003.13

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-42-50



Применение BIM для управления жизненным циклом зданий и сооружений

М.А. Савин ✉, **В.В. Белаш**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

✉ mikhailsavin99@gmail.com

Аннотация

Введение. Информационное моделирование зданий и сооружений (BIM) предполагает комплексное рассмотрение объекта, в том числе конструкторской, технологической и экономической информации о здании со всеми ее взаимосвязями и зависимостями [1–2]. При таком подходе здание и всё, что с ним связано, рассматривается как единый объект. Информационное моделирование является важным инструментом для использования на различных этапах реализации проекта, в том числе на этапе проектирования и строительства [3]. Информационное моделирование используется на каждом этапе жизненного цикла объекта, включая инвестиционный этап, само строительство и введение в эксплуатацию, к которому относится техническое обслуживание здания и управление активами. Информационная модель на данном этапе является большим преимуществом для организации, управляющей объектом, которое обусловлено снижением затрат, связанных с возникшими недостатками в процессе эксплуатации. Целью исследований являлось формирование модели эксплуатационной фазы объекта, как наиболее затратной в жизненном цикле здания, в информационной среде с последующим расчетом показателей потребности в проведении ремонтных работ.

Материалы и методы. В процессе исследований рассматривается информационно-аналитическая среда «ИАС ЖКХ», которая используется для прогнозирования технического состояния объекта строительства. Применена методика создания трех моделей эксплуатационной фазы многоэтажного жилого дома на прединвестиционной стадии: здание подвержено естественному старению; проведение ремонтных работ по основным конструктивным элементам, оказывающим непосредственное влияние на жизнедеятельность и функционирование объекта; проведение периодических ремонтных работ всех элементов.

Результаты исследования. В результате проведенных расчётов принята рациональная модель эксплуатации здания с учётом срока эффективной эксплуатации и затратами на проведение ремонтных работ в течении этого промежутка времени.

Обсуждение и заключения. Метод моделирования эксплуатационной фазы объекта строительства по трем моделям позволяет исследовать различные сценарии жизненного цикла здания после его возведения и оценить целесообразность того или иного вида эксплуатации определённого объекта.

Ключевые слова: эксплуатация, жизненный цикл, информационное моделирование, BIM, «ИАС ЖКХ», многоэтажный жилой дом, показатель износа, коэффициент эффективности проведения ремонтных работ.

Для цитирования: Савин М.А., Белаш В.В. Применение BIM для управления жизненным циклом зданий и сооружений. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(2):42–50. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-42-50

Original article

Application of BIM to Buildings and Structures Life Cycle Management

Mikhail A Savin ✉, **Vladimir V Belash**

Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ mikhailsavin99@gmail.com

Abstract

Introduction. Information modeling of buildings and structures (BIM) implies comprehensive examination of an object including studying engineering, technological and economic information about a building and all interrelations and dependencies it has [1–2]. Such approach enables considering a building and all things referring to it as a single facility.

Information modeling is an important tool to be used at various stages of the project implementation, including the design and construction stage [3]. Information modeling is used at each life cycle stage of a facility, including the investment stage, construction itself, and commissioning, which envisages maintenance of a building and management of the assets. Having the information model at this stage is a great advantage for the company managing a facility, due to reduction of the costs arising from the operational shortcomings. The aim of the research was to develop the facility's operation stage model in the information environment, as the most expensive stage of a building life cycle and supplement it with the calculation of the need-for-repairs indicators.

Materials and Methods. During the research the data-analytical environment "Information and Analytical System for Housing and Communal Services" (IAS ЖКХ) for forecasting the technical state of a constructed facility was studied. The method of creating the three models of a multi-storey residential building's operation stage at the pre-investment period was applied: a building undergoing natural depreciation; repairs of the main structural elements directly affecting the existence and functioning of a facility are carried out; regular repairs of all elements are performed.

Results. Following the carried-out calculations, a rational model of building operation was approved, based on the period of efficient operation and the cost of repairs during this period.

Discussion and Conclusions. The method of the constructed facility operation stage modeling allows examining various scenarios of the building life cycle after its construction and evaluating the relevance of one or another type of operation of a particular facility.

Keywords: operation, life cycle, information modeling, BIM, IAS for Housing and Communal Services, multi-storey residential building, depreciation indicator, repairs efficiency ratio.

For citation. Savin MA, Belash VV. Application of BIM to Buildings and Structures Life Cycle Management. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning.* 2023;2(2):42–50. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-42-50

Введение. В настоящий момент разработка проектов, процессы строительства и эксплуатации объектов капитального строительства повсеместно подвержены глобальным изменениям, связанным с цифровизацией экономики.

Во время проведения отечественных исследований информационных технологий многократно поднимался вопрос рациональной и эффективной эксплуатации зданий. Данная тема стала особенно актуальна после возникновения гипотезы, что данные, получаемые из BIM-модели на протяжении всего жизненного цикла объекта, позволяют в значительной степени повысить эффективность управления недвижимостью (Facility Management (FM)) [4–5].

Зарубежные исследования проводились с целью изучения информационных технологий как потенциального направления повышения эффективности эксплуатационной фазы жизненного цикла объекта. При этом выявился потенциал BIM в направлении ускорения и упрощения процесса обмена информацией между участниками проекта, что улучшает согласование и коммуникацию. BIM позволяет хранить всю информацию о проекте в единой электронной базе данных, что повышает точность информации и упрощает ее обновление. Кроме того, BIM позволяет быстро получать доступ к необходимым данным о проекте в любое время, тем самым улучшая эффективность эксплуатации объекта [6–16].

В зависимости от вида работы информационные модели делятся на два типа: проектную информационную модель (PIM) и эксплуатационную модель (AIM).

PIM — проектная информационная модель, используемая на этапах проектирования, возведения и изменения здания или сооружения, включая капитальный ремонт, реставрацию, реконструкцию, переоснащение новым оборудованием и снос. Цель PIM — предоставление всех необходимых данных и информации для успешного выполнения проекта.

AIM — информационная модель, сосредоточенная на эксплуатации и управлении активами. AIM хранит информацию о каждом активе: его технические характеристики, историю ремонтов и обслуживания, сведения о ресурсах и материалах, необходимых для эксплуатации, и другую важную информацию. Это позволяет владельцам и операторам активов быстро получать доступ к необходимым данным с целью дальнейшей оптимизации и управления активами.

Несмотря на деление информационных моделей на два типа, исключается разделение их на два разных объекта, что играет весомую роль для прогнозирования мероприятий по капитальному ремонту или реконструкции

здания, так как отсутствует необходимость поиска чертежей и внесения трудоемких изменений в проект, поскольку здание уже существует в единой информационной модели.

Разделение информационных моделей строительного объекта показано на рис. 1.

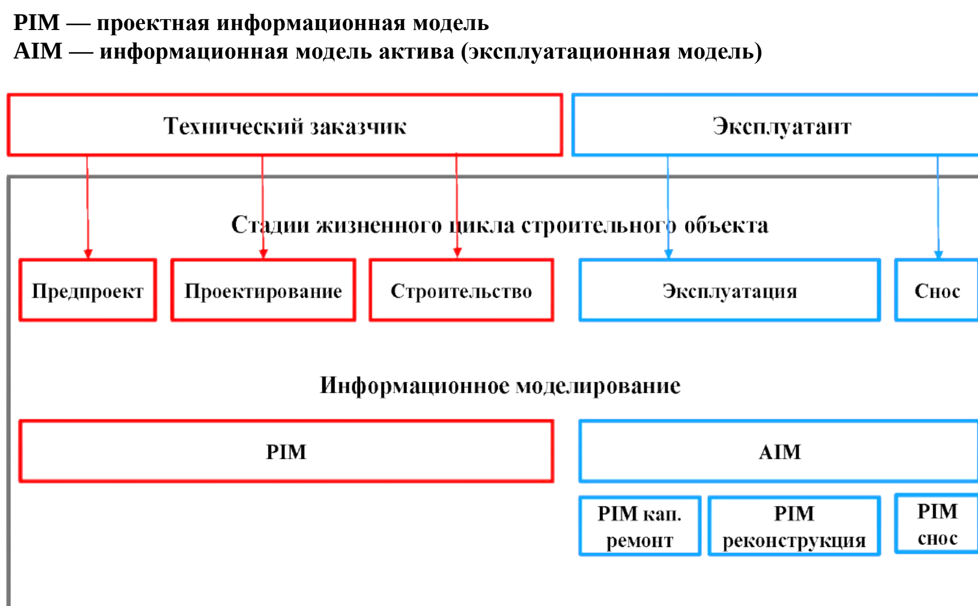


Рис. 1. Типы информационных моделей строительства

Данная схема показывает четкое разделение моделей на два больших блока. При этом за каждый из блоков отвечают разные организации.

В период эксплуатационной фазы, при необходимости реконструкции, сноса или других работ по внесению изменений в существующий объект, новый технический заказчик принимает управление этими работами и осуществляет руководство над ними.

Однако по окончании работ и завершении строительства здания технический заказчик должен передать объект эксплуатирующей организации. В этом случае PIM должен быть доведен до требуемого уровня AIM (активной информационной модели), чтобы отвечать информационным требованиям эксплуатирующей организации.

BIM задействована на каждом этапе жизненного цикла объекта:

– предпроектный этап: создается модель здания, рассчитываются риски строительства;

– этап проектирования и расчёта инвестиций: при помощи информационного моделирования контролируются денежные потоки и их распределение, составляются сметы;

– этап строительства: на основе модели выполняется строительство по рабочим чертежам, корректировка смет, планирование эксплуатации;

– этап эксплуатации: контролируется состояние здания в настоящее время и составляются план-графики ремонтных работ при использовании BIM модели;

– этап сноса здания: модель показывает наиболее оптимальный путь демонтажа здания и рационального использования территории.

Материалы и методы. Инструментом для решения поставленных задач в сфере информационного моделирования является различное программное обеспечение. Существует программное обеспечение, разработанное интернациональными корпорациями с их многомиллионным бюджетом и широким распространением, а также менее популярные и узконаправленные программы, в которых пользователи могут сами влиять на ход дальнейшего развития продукта. Такое программное обеспечение имеет лучшую адаптацию под реалии современного строительства и проектирования в СНГ. Основные направления различных программ показаны на рис. 2.

РАЗРАБОТЧИК	ПО	КОД	КОНЦЕПЦИЯ	УТВЕРЖДЕНИЕ	РАЗРАБОТКА	АНАЛИЗ	ЭКСПЕРТИЗА	ПЛАНИРОВАНИЕ	ТЕХНИЧЕСКИЙ/ АВТОРСКИЙ НАДЗОР
AVEVA	AVEVA BOCAD	5							
ALLPLAN (NEMETSCHEK GROUP)	ALLPLAN ARCHITECTURE	3							
	ALLPLAN ENGINEERING	4							
AUTODESK	ADVANCE STEEL	5							
	BIM 360	7,8							
	CIVIL 3D	6							
	INFRAWORKS	1							
	NAVISWORKS	7,8							
	REVIT	2…6							
BENTLEY	MICROSTATION	1…6							
	PROJECTWISE	7							
GRAPHISOFT	ARCHICAD	3							
MICROSOFT	MICROSOFT PROJECT	8							
ORACLE	PRIMAVERA	8							
RENGA SOFTWARE	RENGA ARCHITECTURE	3							
	RENGA STRUCTURE	4,5							
	RENGA MEP	6							
SOLIBRI (NEMETSCHEK GROUP)	SOLIBRI MODEL CHECKER	7							
TRIMBLE	SKETCHUP	3							
	TEKLA STRUCTURES	4,5							
	TRIMBLE CONNECT	7							
НАНОСОФТ	NANOCAD ИНЖЕНЕРНЫЙ BIM	6							
Примечание: в таблице не указаны програмные комплексы используемые длл выполнения различных инженерных расчётов									
РАСШИФРОВКА КОДА									
1 - ИНФРАСТРУКТУРА 2 - ТЕХНОЛОГИЯ 3 - АРХИТЕКТУРА 4 - КОНСТРУКЦИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ 5 - КОНСТРУКЦИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ 6 - ИНЖЕНЕРНЫЕ КОММУНИКАЦИИ 7 - КООРДИНАЦИЯ 8 - СТРОИТЕЛЬСТВО									

Рис. 2. Программное обеспечение для работы в BIM

Учеными кафедры «Городское строительство и хозяйство» ДГТУ по заказу Министерства ЖКХ Ростовской области разработана и внедрена информационно-аналитическая система «ИАС ЖКХ», которая применяется для прогнозирования технического состояния жилого дома на период эксплуатации и составления списка мероприятий по ремонту МКД. В ней реализуются следующие возможности: ведение реестра объектов недвижимости, хранение, обработка и анализ результатов обследования технического состояния сооружений, определение стоимостной оценки их физического и морального износов, прогноз технического состояния отдельных конструктивных элементов и инженерного оборудования во времени при различных вариантах эксплуатации.

Потребность в ремонте здания оценивается путем анализа степени морального и физического износа конструктивных элементов и инженерного оборудования. Анализ включает в себя оценку повреждений и дефектов, их влияния на функциональность здания и возможность дальнейшей эксплуатации.

При этом рассчитывается коэффициент отношения стоимости ремонтных работ к восстановительной стоимости здания (К — коэффициент эффективности проведения ремонтных работ). На основании значений коэффициента К, указанных в таблице 1, определяется необходимый тип ремонта для доведения здания до нормативного состояния.

Таблица 1

Взаимосвязь значения коэффициента К и типа ремонтных работ

Значение коэффициента К	Тип ремонта
<0,4	Текущий ремонт (ТР)
0,4≤К<0,6	Выборочный капитальный ремонт (ВКР)
0,6≤К<1,0	Комплексный капитальный ремонт (ККР)
≥1,0	Проведение ремонта экономически нецелесообразно

Ввиду того, что самым продолжительным в жизненном цикле объекта капитального строительства является этап эксплуатации, именно он вносит основной вклад в стоимость жизненного цикла.

Оценка продолжительности эффективного жизненного цикла объекта при различных режимах эксплуатации лежит в основе моделирования «ИАС ЖКХ» и представлена на рис. 3.

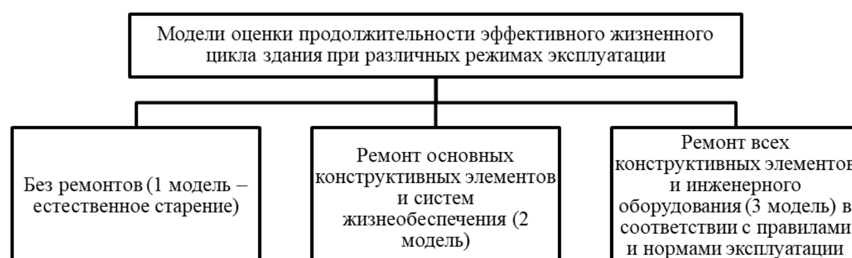


Рис. 3. Оценка продолжительности эффективного жизненного цикла здания

Рассмотрим пример моделирования жизненного цикла на жилом многоэтажном здании с административными помещениями в городе Ростове-на-Дону, который будет строиться в 2023 г.

В процессе моделирования рассмотрена 1-ая (первая) модель, подразумевающая эксплуатацию здания при его естественном старении, то есть без проведения какого-либо типа ремонта на протяжении всего срока эксплуатации (таблица 2).

Таблица 2

Результаты моделирования эксплуатационной фазы объекта по 1-ой модели к 2073 году

Восстановительная стоимость, руб.		Стоимостная оценка физического износа, руб.	
Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов	Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов
559 291 742,90	62 920 321,07	309 401 819,70	75 504 385,29
Стоимостная оценка морального износа, руб.		Коэффициент эффективности проведения ремонтных работ	
Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов	Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов
6 956 191,17	6 956 191,17	0,57	1,21

При анализе полученных данных выявлено, что коэффициент эффективности проведения ремонтных работ для основных конструктивных элементов больше 1, из чего следует, что срок эффективной эксплуатации здания составит 50 лет.

Модель 2 разработана с учетом ремонта основных конструктивных элементов, обеспечивающих жизнедеятельность объекта (рис. 4).



Рис. 4. Основные конструктивные элементы здания

Период моделирования — от первого капитального ремонта до последующего капитального ремонта или до тех пор, пока коэффициент эффективности проведения ремонтных работ не будет больше или равен 1.

Итоги проведения моделирования эксплуатационной фазы многоэтажного жилого дома по 2-ой модели приведены в таблице 3.

Таблица 3

Результаты моделирования эксплуатационной фазы объекта по 2-ой модели к 2157 году

Восстановительная стоимость, руб.		Стоимостная оценка физического износа, руб.	
Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов	Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов
559 291 742,90	62 920 321,07	570 917 321,70	36 295 757,25
Стоимостная оценка морального износа, руб.		Коэффициент эффективности проведения ремонтных работ	
Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов	Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов
6 956 191,17	6 956 191,17	1,03	0,59

Результаты моделирования показали, что к 2157 году рекомендуемый тип ремонта — выборочный капитальный для основных конструктивных элементов и систем жизнеобеспечения. При этом коэффициент эффективности проведения ремонтных работ для здания в целом больше 1, из чего следует, что срок эффективной эксплуатации здания составит 134 года.

Модель 3 разработана с учетом нормативного подхода — ремонта всех элементов здания в оговоренные нормами сроки (таблица 4).

Таблица 4

Результаты моделирования эксплуатационной фазы объекта по 3-ей модели к 2173 году

Восстановительная стоимость, руб.		Стоимостная оценка физического износа, руб.	
Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов	Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов
559 291 742,90	62 920 321,07	389 234 331,70	13 416 846,54
Стоимостная оценка морального износа, руб.		Коэффициент эффективности проведения ремонтных работ	
Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов	Для здания в целом	Для основных конструктивных элементов
6 956 191,17	6 956 191,17	0,71	0,23

Результаты моделирования показали, что к 2173 году рекомендуемый тип ремонта — комплексный капитальный ремонт здания в целом и текущий — для основных конструктивных элементов и систем жизнеобеспечения.

Результаты исследования. По результатам исследования реализации методики оценки продолжительности эффективного жизненного цикла жилого многоэтажного дома с административными помещениями при различных моделях эксплуатации можно сделать следующие выводы:

1. При естественном старении срок эффективной эксплуатации здания (1-я модель) составил 50 лет или 33 % от нормативного срока службы.

2. При эксплуатации здания по 2-ой модели срок эффективной эксплуатации равен 134 года или 89 % от нормативного срока службы.

3. При эксплуатации здания по 3-ей модели срок эффективной эксплуатации равен нормативному, то есть 150 годам.

Затраты на проведение ремонтных работ с учетом коэффициентов приращения при горизонте прогнозирования на 50 лет и 100 лет по 2-ой и 3-ей моделям приведены на рис. 5 и 6.

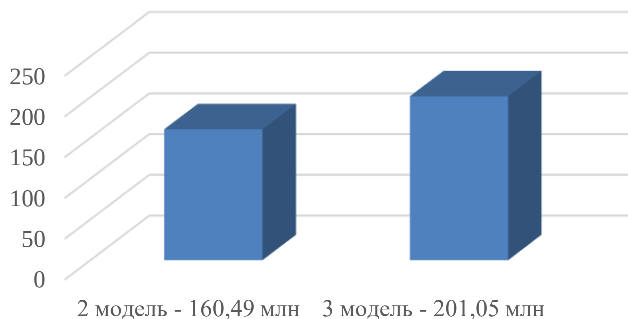


Рис. 5. Затраты на проведение ремонтных работ при горизонте прогнозирования 50 лет по 2-ой и 3-ей моделям эксплуатации

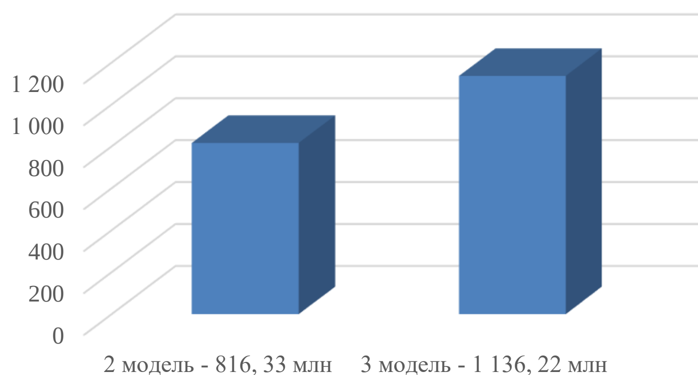


Рис. 6. Затраты на проведение ремонтных работ при горизонте прогнозирования 100 лет по 2-ой и 3-ей моделям эксплуатации

Обсуждение и заключения. Проведенные с применением информационного моделирования расчеты наглядно показали, что применение BIM-моделирования позволяет прогнозировать любую стадию возведения объекта строительства.

По результатам расчетов, представленных в таблицах 2–4, можно сделать выводы о необходимости ремонта основных конструктивных элементов или здания в целом на основании показателей износа и коэффициента эффективности проведения работ.

На основании проведенного моделирования и представленных результатов собственники здания могут самостоятельно выбрать устраивающий их режим эксплуатации, принимая во внимание, что при проведении ремонта основных конструктивных элементов срок эффективной эксплуатации составит 134 года или 89 % от нормативного срока службы здания.

Список литературы

1. Талапов В.В. Информационное моделирование зданий — современное понимание. *CADmaster*. 2010;4(54).

2. Талапов В.В. *Основы BIM. Введение в информационное моделирование зданий*. Москва: ДМК Пресс; 2011. 392 с.

3. Талапов В.В. *Технология BIM: суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий*. Москва: ДМК Пресс; 2015. 410 с.

4. Вечелковский Б.Е. Анализ ключевых факторов внедрения технологии информационного моделирования зданий в современном строительстве. *Современная техника и технологии*. 2015;1. URL: https://technology.snauka.ru/2015/01/5625 (дата обращения: 16.04.2023).

5. Pobegaylov O, Fil O, Tchyoubka P, Abdul AS. The strategy of production targets and the environmental planning in construction. *E3S Web of Conferences*; 2019:08010. https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199108010

6. Тимофеев С.В., Селютина Л.Г. *Анализ зарубежного опыта развития и использования технологий информационного моделирования в строительстве*. В: Материалы II Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы экономики и управления строительством в условиях экологически ориентированного развития». Томск; 2015. С. 324–329.

7. Krukowski A. Arsenijevic D. *RFID-Based positioning for building management systems*. In: Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems; 2010. Pp. 3569–3572. https://doi.org/10.1109/ISCAS.2010.5537800

8. Ergen E., Akinci B., Sacks R. Life-cycle data management of engineered-to-order components using radio frequency identification. *Advanced Engineering Informatics*. 2007;21(4):356–366. https://doi.org/10.1016/j.aei.2006.09.004

9. Manning R., Messner J.I. Case studies in BIM implementation for programming of healthcare facilities. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*. 2007;13:446–457. URL: https://www.researchgate.net/publication/253174582_Case_studies_in_BIM_implementation_for_programming_of_healthcare_facilities (дата обращения: 16.02.2023).

10. Zuppa D., Issa R.R.A., Suermann P.C. BIM's impact on the success measures of construction projects. *International Workshop on Computing in Civil Engineering*. 2009;346:503–512. https://doi.org/10.1061/41052(346)50

11. Becerik-Gerber B., Jazizadeh F., Li N., Calis G. Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2012;138(3):431–442. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433

12. Shen W., Hao Q., Mak H., [et al.] Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction and facilities management: a review. *Advanced Engineering Informatics*. 2009;24(2):196–207. https://doi.org/10.1016/j.aei.2009.09.001

13. Steiner J. The art of space management: Planning flexible workspaces for people. *Journal of Facilities Management*. 2005;4(1):6–22. https://doi.org/10.1108/14725960610644195

14. Zhichong Z., Yaowu W. *Framework of spatial decision support system for large-scale public building evacuation.* In: 2009 WRI Global Congress on Intelligent Systems. Xiamen, China; 2009. Pp. 352–356. https://doi.org/10.1109/GCIS.2009.382

15. Park E., Kwon S.J., Han J. Antecedents of the adoption of building information modeling technology in Korea. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2005;26(8):1735–1749. https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2018-0174

16. Vishnivetskaya A., Mikhailova A. Employment of BIM technologies for residential quarters renovation: global experience and prospects of implementation in Russia. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2005;497:012020. https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012020

References

1. Talapov VV. Informatsionnoe modelirovanie zdanii — sovremennoe ponimanie. *CADmaster*. 2010;4(54).

2. Talapov VV. *Osnovy BIM. Vvedenie v informatsionnoe modelirovanie zdanii*. Moscow: DMK Press; 2011. 392 p.

3. Talapov VV. *Tekhnologiya BIM: sut' i osobennosti vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya zdanii.* Moscow: DMK Press; 2015. 410 p.

4. Vechelkovskii BE. Analiz klyuchevykh faktorov vnedreniya tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya zdanii v sovremennom stroitel'stve. *Sovremennaya tekhnika i tekhnologii.* 2015;1. Available at: https://technology.snauka.ru/2015/01/5625 (accessed: 16.04.2023).

5. Pobegaylov O, Fil O, Tchyoubka P, Abdul AS. The strategy of production targets and the environmental planning in construction. *E3S Web of Conferences*; 201.

6. Timofeev SV, Selyutina LG. *Analiz zarubezhnogo opyta razvitiya i ispol'zovaniya tekhnologii informatsionnogo modelirovaniya v stroitel'stve*. In: Materialy II Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Problemy ehkonomiki i upravleniya stroitel'stvom v usloviyakh ehkologicheski orientirovannogo razvitiya». Tomsk; 2015. P. 324–329.

7. Krukowski A, Arsenijevic D. *RFID-Based positioning for building management systems*. In: Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems; 2010. P. 3569–3572. https://doi.org/10.1109/ISCAS.2010.5537800

8. Ergen E, Akinci B, Sacks R. Life-cycle data management of engineered-to-order components using radio frequency identification. *Advanced Engineering Informatics*. 2007;21(4):356–366. https://doi.org/10.1016/j.aei.2006.09.004

9. Manning R, Messner JI. Case studies in BIM implementation for programming of healthcare facilities. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*. 2007;13:446–457. Available at: https://www.researchgate.net/publication/253174582_Case_studies_in_BIM_implementation_for_programming_of_healthcare_facilities (accessed: 16.02.2023).

10. Zuppa D, Issa RRA, Suermann PC. BIM's impact on the success measures of construction projects. *International Workshop on Computing in Civil Engineering.* 2009;346:503–512. https://doi.org/10.1061/41052(346)50

11. Becerik-Gerber B, Jazizadeh F, Li N, Calis G. Application Areas and Data Requirements for BIM-Enabled Facilities Management. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2012;138(3):431–442. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000433

12. Shen W, Hao Q, Mak H, et al. Systems integration and collaboration in architecture, engineering, construction and facilities management: a review. *Advanced Engineering Informatics*. 2009;24(2):196–207. https://doi.org/10.1016/j.aei.2009.09.001

13. Steiner J. The art of space management: Planning flexible workspaces for people. *Journal of Facilities Management*. 2005;4(1):6–22. https://doi.org/10.1108/14725960610644195

14. Zhichong Z, Yaowu W. *Framework of spatial decision support system for large-scale public building evacuation.* In: 2009 WRI Global Congress on Intelligent Systems. Xiamen, China; 2009. P. 352–356. https://doi.org/10.1109/GCIS.2009.382

15. Park E, Kwon SJ, Han J. Antecedents of the adoption of building information modeling technology in Korea. *Engineering, Construction and Architectural Management*. 2005;26(8):1735–1749. https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2018-0174

16. Vishnivetskaya A, Mikhailova A. Employment of BIM technologies for residential quarters renovation: global experience and prospects of implementation in Russia. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2005;497:012020. https://doi.org/10.1088/1757-899X/497/1/012020

Об авторах:

Савин Михаил Александрович, магистрант кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, mikhailsavin99@gmail.com

Белаш Владимир Валентинович, доцент кафедры «Городское строительство и хозяйство» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, Scopus ID, ORCID, rgsu-gsh@mail.ru

Заявленный вклад соавторов:

М.А. Савин — формирование основной концепции, методология исследования, подготовка текста, формирование выводов. В.В. Белаш — научное руководство, анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов.

Поступила в редакцию 10.04.2023.
Поступила после рецензирования 28.04.2023.
Принята к публикации 04.05.2023.

Конфликт интересов
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

Mikhail A Savin, master's student of the Urban Engineering and Facilities Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, mikhailsavin99@gmail.com

Vladimir V Belash, associate professor of the Urban Engineering and Facilities Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sci. (Engineering), Scopus ID, ORCID, rgsu-gsh@mail.ru

Claimed contributorship:

MA Savin — formulating the main concept, research methodology, preparing the text, formulating conclusions. VV Belash — scientific supervision, research results' analysis, revision of the text, correction of the conclusions.

Received 10.04.2023.
Revised 28.04.2023.
Accepted 04.05.2023.

Conflict of interest statement
The authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.




УДК 69.055.4

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-51-61



Устойчивое развитие участка застройки с учетом экологической безопасности в городских условиях

С.Е. Манжилевская

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

smanzhilevskaya@yandex.ru

Аннотация

Введение. Устойчивая система проектирования территории застройки требует интеграции многих видов информации, обеспечения постоянного участия пользователей и членов сообщества, а также различных специалистов на протяжении всего жизненного цикла здания. При целостном подходе к проектированию акцент делается на функциональную взаимосвязь между различными частями здания или комплекса в целом, что увеличивает сложность проекта. Ключевым принципом, лежащим в основе устойчивых зданий, является комплексный процесс проектирования с учетом принципов экологической безопасности.

Данная статья сосредоточена на анализе методологии управления и организации, применяемой строительными специалистами в рамках устойчивого строительства. Проектирование, организация и обустройство строительной площадки для проведения работ по реконструкции здания или крупномасштабной застройки в границах городской территории требуют разработки мероприятий и решений по хранению и использованию токсичных химических веществ, определения места сбора, утилизации опасных отходов, очистки сточных вод — результатов функционирования предыдущего сооружения или комплекса. Все эти факторы нуждаются в соответствующем мониторинге, оценке риска и мер экологического восстановления земельного участка, когда первоначальные объекты, территории меняют свой функционал и перестраиваются на объекты, оказывающие влияние на окружающую среду.

Материалы и методы. Разработка принципов устойчивого проектирования строительных площадок объектов капитального строительства на территориях, подвергавшихся длительному воздействию в процессе функционирования предыдущих зданий и сооружений, требует проработки алгоритмов, методик оценки и мониторинга экологической ситуации на строительной площадке. Реализация данных решений нуждается в анализе источников загрязнения, длительности воздействия, характера и степени загрязненности почвенного слоя строительной площадки. Разработка современных управленческих, организационно-технологических решений позволит минимизировать процессы восстановления территории и создания устойчивого строительного производства.

Результаты исследования. В результате проведенного исследования были разработаны алгоритмы оценки экологического состояния почвенного слоя строительной площадки, рекомендации для методики оценки и мониторинга экологического состояния участка застройки с целью организации устойчивого проектирования организационно-технологических решений в инвестиционно-строительном проекте.

Обсуждение и заключения. Внедрение процессов устойчивого проектирования в инвестиционно-строительный проект по сохранению почвенного слоя участка строительства, контроль и оценка его состояния позволяют избежать дополнительных издержек, связанных с отсутствуем необходимости рекультивации грунта, покупки грунта, имеющего отличающийся химический состав от изначально сложившегося на конкретной территории, и обеспечить максимально возможное сохранение растительности.

Ключевые слова: жизненный цикл проекта, устойчивое строительство, управление стоимостью, инвестиционно-строительный проект.

Для цитирования: Манжилевская С.Е. Устойчивое развитие участка застройки с учетом экологической безопасности в городских условиях. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(2):51–61. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-51-61

Original article

Sustainable Development of a Build-Up Area Taking into Account the Environmental Safety in Urban Conditions

Svetlana E Manzhilevskaya

Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation

mikhailsavin99@gmail.com

Abstract

Introduction. The sustainable design system of a built-up area requires integration of many types of information and ensuring the constant involvement of users, community members and various specialists throughout a building's life cycle. The holistic designing approach implies focusing on the functional relationship between different parts of a building or a building complex as a whole that increases the complexity of a project. The key principle underlying sustainable buildings is an integrated design process taking into account the principles of environmental safety.

The present article focuses on the analysis of the managerial and organizational methodology used by the civil engineering professionals in the context of sustainable construction. The design, management and arrangement of a construction site for a building's reconstruction or a large scale build-up within the urban area boundaries require the development of measures and solutions for the storage and use of toxic chemicals, allocating the places for hazardous wastes collection and disposal, wastewater treatment – the results of operation of a previous structure or a building complex. All these factors need appropriate monitoring, assessment of risks and measures of ecological recovery of a land plot, in cases when the original objects and territories change their functional designation and are rebuilt into objects having impact on the environment.

Materials and Methods. The development of sustainable design principles for arranging a construction site of capital construction facility on the areas that were exposed to long-term impact during the previous buildings' and structures' operation requires working-out the algorithms, methodology for assessment and monitoring the environmental situation on a construction site**.** The implementation of the present solutions requires the analysis of the sources of pollution, the duration of exposure, the nature and degree of construction site' soil layer pollution. The development of modern managerial, organisational and technological solutions will minimise the processes of territory recovery and create sustainable construction operations.

Results. As a result of the conducted research there were developed: the algorithms for assessing the ecological state of a construction site soil layer, the recommendations on the methodology for a build-up area ecological state assessment and monitoring aimed at setting the sustainable design of the organisational and technological solutions within an investment and construction project.

Discussion and Conclusions. The implementation of the sustainable design processes in the investment and construction project on a build-up area soil layer preservation, the monitoring and assessment of its state enable avoiding extra costs due to the absence of the need for soil reclamation and purchase of soil of a different chemical composition from that originally formed in a particular area, and due to ensuring maximum possible preservation of vegetation.

Keywords: project life cycle, sustainable construction, cost management, investment and construction project.

For citation. Manzhilevskaya SE. Sustainable Development of a Build-Up Area Taking into Account the Environmental Safety in Urban Conditions. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(2):51–61. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-51-61

Введение. Социальные и экологические проблемы, с которыми сталкиваются сегодня участники инвестиционно-строительных проектов, доказывают, что устойчивое развитие на различных этапах жизненного цикла зданий и сооружений или целых комплексов, возводимых на городских территориях, в том числе, где располагались производственные комплексы, заводы, цеха, здания СТО, автозаправочные станции, является и в ближайшие десятилетия будет самой постоянной темой для обсуждения между гражданами, политиками, предпринимателями, девелоперами, инвесторами, бизнес-лидерами, экспертами, аудиторами и т. д. [1, 2]

Проектирование, организация и обустройство строительной площадки для проведения работ по реконструкции здания или крупномасштабной застройки в границах городской территории требуют разработки мероприятий и решений по хранению и использованию токсичных химических веществ, определения места сбора, утилизации опасных отходов, очистки сточных вод — результатов функционирования предыдущего сооружения или комплекса. Все эти факторы нуждаются в соответствующем мониторинге, оценке риска и мер экологического

восстановления земельного участка, когда первоначальные объекты, территории меняют свой функционал и перестраиваются на объекты, такие как жилые дома, магазины, школы, детские сады, больницы, дома престарелых, игровые площадки, парки, стадионы, выставочные здания и т. д.

Почва — это основа жизни на нашей планете. Она состоит из твердых минералов, воды, воздуха и органических веществ. Очищенная почва сама по себе является важным компонентом устойчивого строительства в целом и строительной площадки в частности. Однако почва играет в здоровье экосистем гораздо более важную роль, представленную на рис. 1 [3, 4].

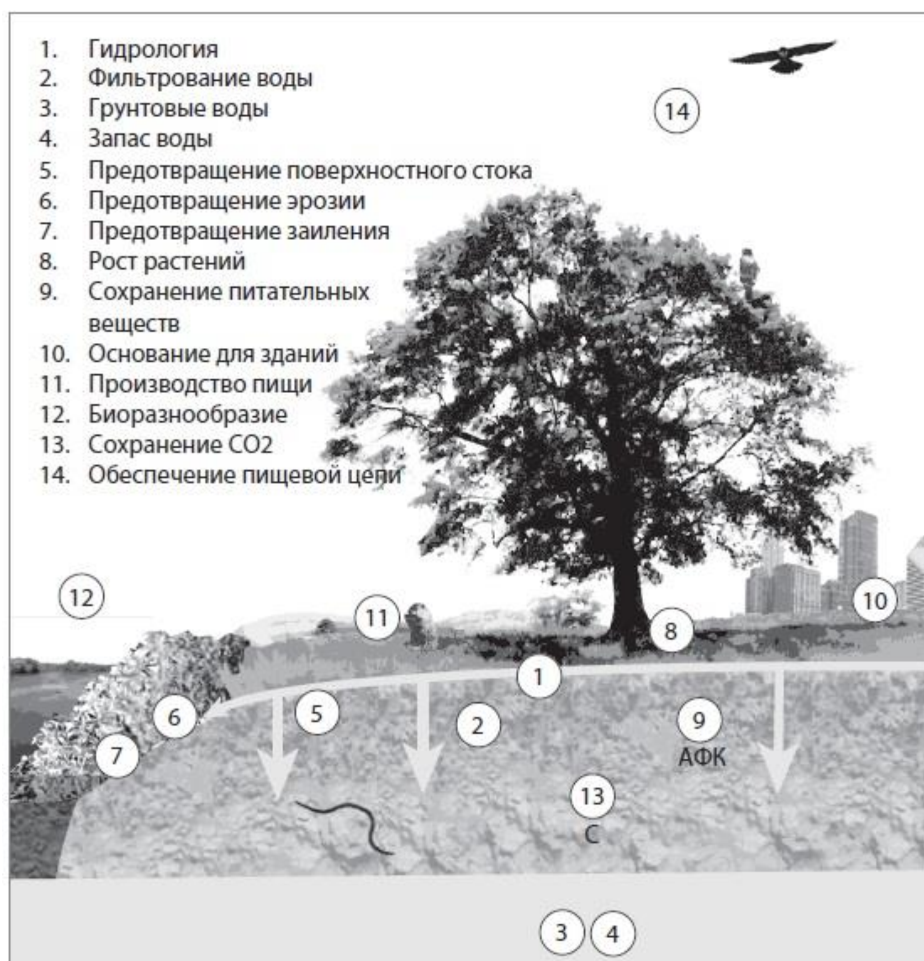


Рис. 1. Основные экологические функции, выполняемые почвой [3]

К функциям почвы относится:

– защита качества воды и ее запасов. Она фильтрует и удерживает воду, помогая очищать загрязненную воду и уменьшать сток, эрозию, отложение осадков и наводнения;

– накопление углерода и поддержание здоровой популяции микроорганизмов;

– сокращение затрат (орошение, пестициды, удобрения), которые в противном случае могли бы потребоваться для поддержания растительного слоя;

– помощь деревьям в быстром достижении желаемого размера.

Полезные свойства почвенного слоя, однако, формируются медленно, и многие его преимущества могут быть легко утрачены во время застройки участка и в течение долгого эксплуатационного срока промышленных зданий и сооружений, которые располагались на участке.

Структура и качество почвы могут быть повреждены из-за эрозии, уплотнения, перемещения, загрязнения и чрезмерного удобрения.

Таким образом, двойными целями управления восстановлением почвенного слоя для устойчивого развития инвестиционно-строительного проекта являются:

– защита существующего почвенного слоя (задаваясь его желаемыми свойствами);

– восстановление почвы с нежелательными свойствами [5, 6].

Достижение этих целей требует экологического обследования участка после демонтажа здания, эксплуатация которого нанесла вред почвенному слою городской территории, защиты этого почвенного слоя и научных предложений по созданию условий, в которых почва может восстановиться и обогатиться для устойчивого развития будущей городской застройки. Тщательная оценка участка, проектирование и строительство позволяют внести наибольший вклад в устойчивость участка за счет почвы.

Конечная цель инструментов оценки устойчивости — более целостно подходить к характеристикам здания и проводить многоэтапный экологический мониторинг на различных этапах жизненного цикла возводимых объектов, начиная на стадии технико-экономического обоснования и разработки инвестиционных решений до мониторинга уже в процессе эксплуатации. Таким образом, внедрение руководящих принципов устойчивого развития, методов и решений по экологическому обследованию и восстановлению земельных участков для будущих возводимых объектов с функционалом, отличным от предыдущего функционала объектов, располагавшихся на территории застройки, может быть использовано заказчиком в качестве инструмента для обеспечения продвижения интегрированной рабочей среды, сохранения целенаправленности и организации всего процесса проектирования и строительства [7, 8].

Материалы и методы. Интегрированную рабочую динамику может быть трудно реализовать, когда вся строительная команда не намерена отказываться от следования традиционным методам работы, когда этапы проектирования и строительства понимаются как линейные процессы, а отдельные специалисты, такие как архитекторы и инженеры, работают по своим специальностям несколько изолированно друг от друга.

Ключевым принципом, лежащим в основе устойчивых зданий, является комплексный процесс проектирования с учетом принципов экологической безопасности [9]. Этот подход отличается от обычного проектирования тем, что на начальном этапе проекта создается многопрофильная команда с высокой степенью сотрудничества, которая дает этой команде возможность понимать и развивать все аспекты территории застройки (функциональность здания, дизайн земельного участка и его эксплуатацию) с целью поддержания устойчивых положительных экологических факторов, реализация которых начинается уже на ранних стадиях обоснования проекта.

В традиционном процессе проектирования каждый строительный специалист участвует, когда это необходимо, создавая рабочие островки, которые приводят к неэффективной координации и плохой коммуникации. В отличие от этого, интегрированный процесс проектирования основан на концепции, согласно которой лучшие идеи появляются, когда участники пересекают обычные границы, потому что их взгляды не так ограничены привычным способом выполнения задач [10]. Поскольку крупные инвестиционно-строительные проекты обычно занимают большие площади, они, скорее всего, будут включать сопутствующие работы по сносу и реконструкции сооружений. И тогда оценка территории становится необходимостью для нового проекта с целью снижения или полной ликвидации негативного воздействия, оставленного от предыдущего объекта. Оценку загрязненности территории следует поручить сертифицированной организации и руководствоваться следующей технологической схемой оценки, представленной на рис. 2 [11].

Экологическое обследование строительной площадки.

Для реализации рационального подхода к экологическому обследованию территории, предназначенной по инвестиционно-строительному проекту к реконструкции или возведению нового объекта, например, жилого комплекса, данную процедуру можно разделить на три этапа.

1. Первый этап — это первичная идентификация загрязнения участка.
2. Второй этап связан с экологическим обследованием участка, в котором в основном используется метод профилирования отбора проб для подтверждения загрязнения участка, а также типа, степени и объема загрязнения.
3. Третий этап в основном должен включать в себя дополнительный анализ и запрос данных для удовлетворения потребностей в анализе, связанном с оценкой рисков и процессом восстановления почвы и подземных вод, атмосферного воздуха. Рабочий процесс экологического обследования показан на рис. 3 [12].

Первый этап заключается в выявлении загрязнения с помощью сбора данных, осмотра места и опроса персонала. Отбор проб на месте не включен в этот этап. Если в прошлом и в настоящее время на объекте или прилегающих территориях не было источников загрязнения, то условия окружающей среды на объекте являются приемлемыми, и обследование может закончиться на этом.

Второй этап состоит из анализа проб для проверки загрязнения. Следует исследовать тип, степень и объем участка загрязнения, если на участке и прилегающей территории имеются возможные источники загрязнения, которые могут производить токсичные или опасные вещества, такие как химический завод, фабрика по производству пестицидов, плавильный завод, автозаправочная станция, резервуары для хранения химических веществ, места захоронения твердых отходов и т. д. Кроме того, если визуально невозможно определить, существуют ли внутренние и внешние источники загрязнения, объект также должен быть исследован. Второй этап

обычно можно разделить на предварительный анализ и детальный анализ, и каждый этап включает в себя рабочий план, отбор проб на месте, оценку данных и анализ результатов. Каждый шаг может выполняться поэтапно, чтобы постепенно уменьшить неопределенность результатов обследования в соответствии с реальной ситуацией. Согласно предварительным результатам анализа проб, если концентрация загрязняющего вещества не превышала национальный или местный показатели ПДК (предельно допустимые концентрации) и фоновые значения ПДК, а также анализ неопределенности подтвердил, что они не требуют дальнейшего исследования, то второй этап может быть завершен. В противном случае считается, что существуют потенциальные экологические риски, и участок нуждается в детальном анализе образцов. Кроме того, необходимо определить загрязнение, которое не входит в стандарт, в соответствии с профессиональными знаниями и опытом. Детальный анализ проб, основанный на предварительном анализе проб, дополнительно определяет степень и объем загрязнения.

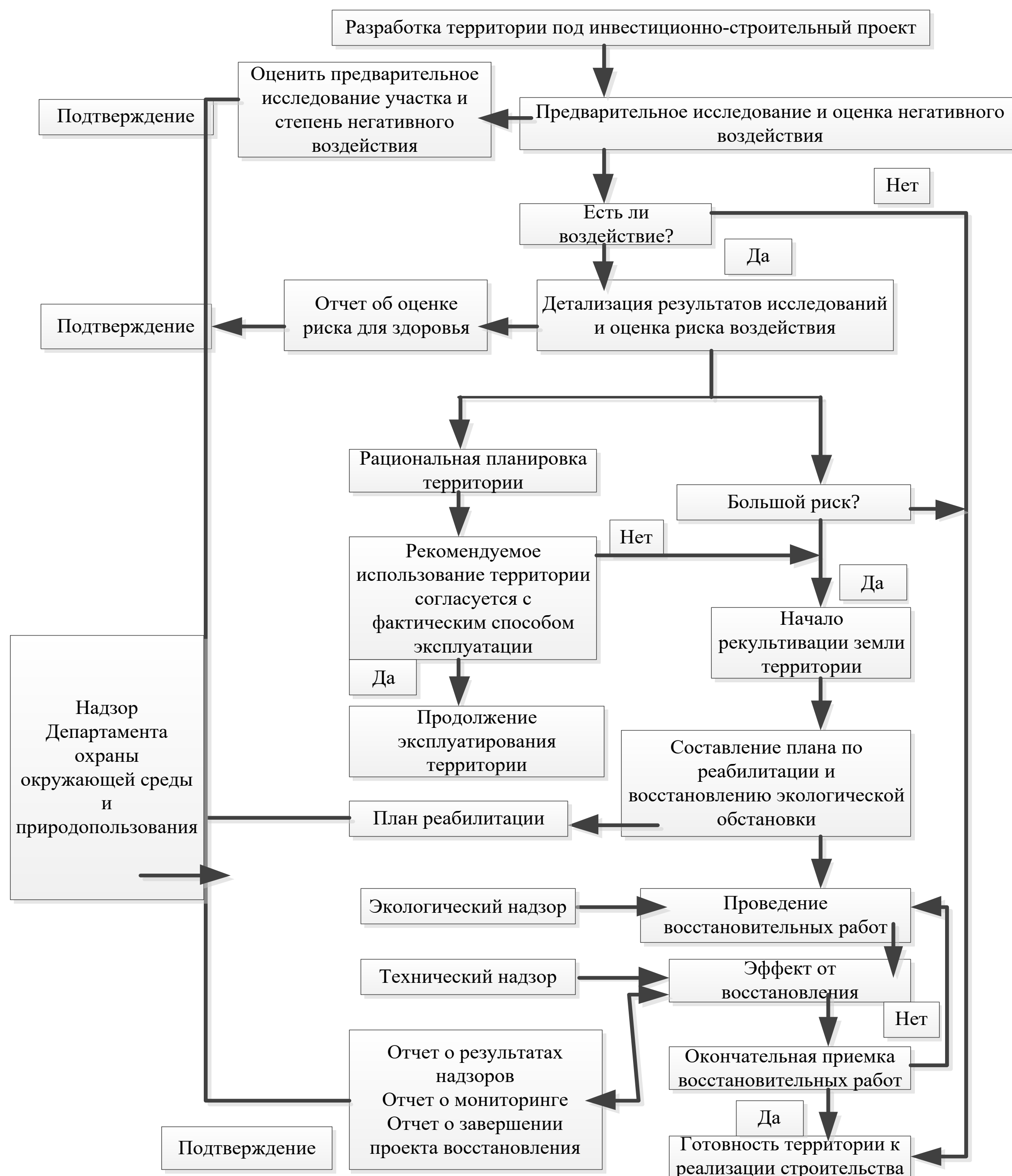


Рис. 2. Базовая технологическая схема оценки территории [11]

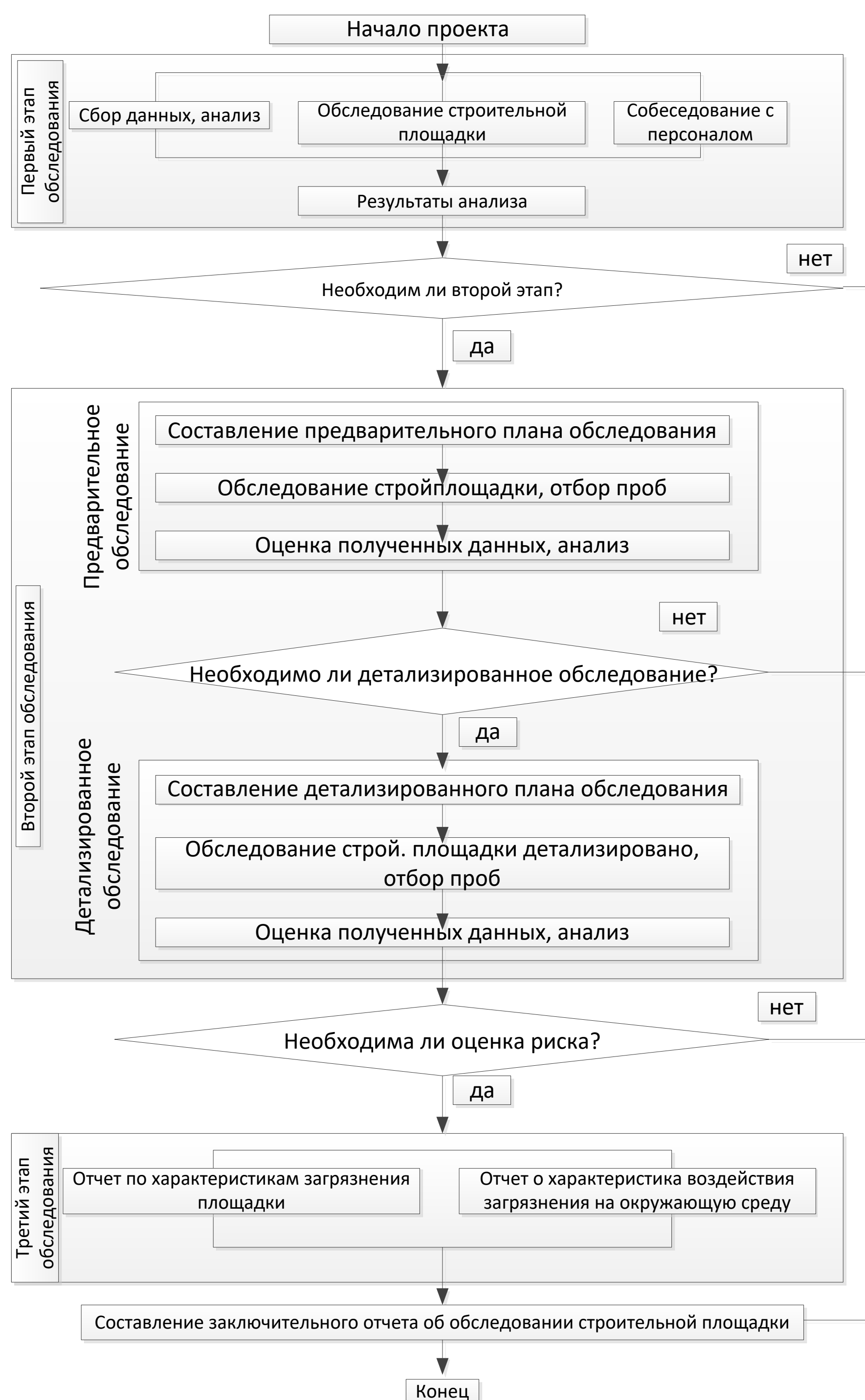


Рис. 3. Алгоритм проведения экологического обследования

Если существует необходимость в оценке риска и устранении загрязнения, следует провести третий этап. Третий этап состоит из дополнительной выборки и тестирования с целью получения необходимых параметров для оценки риска восстановления почвы и подземных вод. Этот этап может проводиться независимо или может быть одновременно проведен на втором этапе.

Результаты исследования. Преимущества включения экологического обследования земельного участка в процесс устойчивого проектирования и строительства:

– защита и обеспечение всего экологического функционала почвенного слоя. Например, значительным преимуществом, обеспечиваемым почвами, является накопление углерода. Разработка и рекультивация земли может разрушить структуру почвы и ускорить разложение, что приведет к потерям углерода в атмосферу. Кроме того, стратегическая выгода от здоровой ненарушенной почвы — способность к инфильтрации и накоплению воды;

– инвестиции в почвенный слой территории застройки создадут возможности для повышения устойчивости в других аспектах участка. Защита и восстановление почв, особенно сильно загрязненных, принесет целый ряд косвенных выгод, таких как рост растительности, естественное озеленение территории и сокращение потребностей в орошении;

– создание условий для защиты почвенного слоя и почвообразования на длительный срок. Возможно, строительство гражданского объекта (школы, многоквартирного дома, детского сада) может уменьшить воздействие на почвенной слой, но полностью восстановиться за очень короткий срок он не сможет. Хорошая степень восстановления создаст условия (поступление органического вещества, активность корней и т. д.), которые со временем приведут к образованию высококачественной, хорошо структурированной почвы.

Первым шагом в создании устойчивого участка земли для строительного производства является оценка территории — оценка экологических ограничений и возможностей в контексте предполагаемой функции территории. Исходные данные и данные, полученные в ходе оценки должны послужить основой для планировки и проектирования строительного производства на выбранном участке. Процессы утверждения инвестиций, проработки проекта, инженерной подготовки строительной площадки, производства строительно-монтажных работ и, в дальнейшем, даже эксплуатации, должны учитывать ресурсы участка застройки, используя возможности и работая с ограничениями, которые они представляют. Потенциал участка по реализации экологического функционала нельзя игнорировать, если стоит задача достичь устойчивости. Таким образом, здания и дороги не могут быть размещены до того, как будут изучены характеристики почвы. Проектная группа должна иметь четкое представление о том, что можно и нужно извлечь из оценки грунтов участка и когда необходимо вернуться за более подробной информацией.

Следующий шаг заключается в определении типа и качества почвенных слоев, существующих на участке. Вопросы для обследования должны включать:

1. Где был нарушен почвенный слой и каким образом?
2. Где почва в здоровом состоянии? Здоровые почвы должны иметь высокий приоритет в плане защиты и сохранения.
3. Где есть почвы, которые можно восстановить или, по крайней мере, направить на путь развития характеристик здоровых почв в будущем?
4. Существуют ли участки, где почва полностью отсутствует или загрязнены?

Каждая из этих областей представляет различные ограничения и возможности для реализации экологического функционала. Характеристика участков загрязнения территории должна быть определена в ходе предварительной оценки участка в соответствии с критериями, представленными в таблице 1, прежде чем приступить к этапу проектирования.

Таблица 1

Категории почвенных слоев по загрязненности

Категория	Характеристики
Здоровая почва	Краткое определение здоровых почв для всех участков трудно дать, поскольку почвенные слои варьируются в зависимости от климата и региона. Здоровая почва может присутствовать, если: – почвенные горизонты аналогичны эталонному грунту; – как верхний, так и подпочвенный слой почвы не уплотнены; – содержание органического вещества равно или превышает таковое в контрольной пробе почвы; – pH почвы, соленость, способность к катионообмену и содержание минеральных веществ аналогичны исходным характеристикам почвенного слоя.
Минимальный уровень нарушения почвенного покрова	Характеризуется превышением уровня уплотнения в поверхностных горизонтах, но почвы не покрыты непроницаемыми поверхностями и не имеют значительного уплотнения или нарушения подпочвы. Примером может служить почва, которая была уплотнена интенсивным пешеходным движением, но подпочва не тронута.
Средний уровень нарушения почвенного покрова	Распространен вокруг существующих зданий и ранее застроенных участков. К ним относятся участки, где отсутствует верхний слой почвы и где грунт был выровнен (контурная обработка почвы, полувыемка-полунасыпь либо просто чрезмерное движение строительных машин). Подпочвы в районах с умеренным нарушением почвенного покрова будут изменены, уплотнены или перемешаны. Например, горизонты верхнего слоя почвы могут находиться под слоями подпочвы.
Максимальный уровень нарушения почвенного покрова	Данный уровень нарушения почвенного покрова сочетает в себе характеристики среднего уровня нарушения почвенного покрова и заасфальтированных или загрязненных грунтов. Примером может служить грунт под существующим асфальтом или зданиями, а также заброшенные поля.

Характеристики почвенных слоев, выявленные в ходе экологической оценки участка, определят, где необходимо решить проблемы для создания здорового уровня почв, необходимого для устойчивого развития участка. Общая оценка участка и оценка почв могут быть наложены друг на друга для более динамичной интерпретации существующих условий. Информация о состоянии почвенных слоев должна быть проанализирована в отношении и прочей информации об оценке участка, целей инвестиционно-строительного проекта.

Заключительным этапом экологического обследования по обеспечению устойчивости территории строительного производства является рекультивация и восстановление существующих почвенных покровов, грунта.

Методы рекультивации грунта могут быть выбраны в соответствии как с результатами оценки и обследования, так и с целями инвестиционно-строительного проекта. Каждый набор стратегий имеет разный уровень стоимости, сложности и устойчивости. В таблице 2 обобщены различные стратегии для основных групп почвенного покрова и причины их использования.

Таблица 2

Классификация стратегий устойчивого управления почвенными покровами и рекультивации грунта

Цели управления	Стратегия
Сохранение текущего состояния	Если существует почвенный слой в здоровом состоянии, сохранение может быть менее дорогостоящим, а также может защитить существующий функционал почвенного покрова. Необходимо: – сохранять здоровые, функциональные почвенные слои; – сохранять растительность; – защищать от воздействия строительства; – разработать долгосрочный план устойчивого управления земельным участком на протяжении всего жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта.
Рекультивация и восстановление	Если грунт имеет минимальное нарушение или загрязнение, был ранее загрязнен во время строительства, эксплуатации предыдущего объекта, восстановление грунта может быть менее трудоемким и менее дорогостоящим. Необходимо: – восстанавливать почвенные слои по мере необходимости, чтобы восстановить их функции до здорового состояния; – разработать план устойчивого строительства нового объекта с минимальным воздействием на почву; – разработать долгосрочный план устойчивого управления земельным участком на протяжении всего жизненного цикла инвестиционно-строительного проекта.
Разработать систему дренажей	Если почвенный слой уплотнен или имеет низкую скорость просачивания, которую невозможно устранить путем восстановления почвы, добавление или модификация дренажных систем может помочь отвести воду с участка. Дренажные системы необходимо разрабатывать совместно с другими гидрологическими системами на месте. Необходимо: создать дренаж, изменив уклон или обновить/построить дренажную систему.
Обновление слоя	При крайне плохом состоянии почвенного слоя, для увеличения объема почвы или в рамках стратегии изоляции загрязненных слоев поверх старой почвы, можно насыпать новую почву. Необходимо: – засыпать новой почвой всю площадь площадки; – организовать систему дренажей.
Замена грунта	Замена существующего грунта частично новым или необходимость полного обновления новым грунтом участка, где его не было может быть дорогостоящим выбором, и необходимо рассмотреть стратегии рационального использования старого грунта. Однако это также может быть быстрым и эффективным способом создания условий, необходимых для устойчивого участка, особенно в ограниченных и стесненных городских условиях. Необходимо: – проанализировать причины неблагоприятных результатов эксплуатации существующего грунта, чтобы выяснить, будут ли по-прежнему возникать проблемы или грунт можно обновить; – принять решение согласно проекту обновления грунта и почвенного слоя на участке только в местах, где не будут располагаться здания и сооружения; – определить зоны участка, предназначенные для обновления грунта и почвенного слоя; – определить вид, состав, характеристики нового грунта.
Разрыхление грунта	При недостаточном объеме грунта можно добавить новый или удобрения с другими питательными средами, соответствующими требованиям к функционалу почвенного слоя в соответствии с целями проектирования. Необходимо: – изменить план участка, внести изменения в генплан проекта; – увеличить способность развития корневой системы растений в почве в городских условиях, например, под тротуарами.

Наилучшей практикой для долгосрочного сохранения здоровья почвенных слоев является разработка долгосрочного плана управления территорией застройки. План должен включать предварительные решения технического обслуживания, а также схему режима мониторинга. Мониторинг предоставляет информацию и понимание того, насколько успешным является проект, и как изменения в конструктивных и эксплуатационных характеристиках построенного объекта могут принести пользу здоровью почвы. На первых этапах проекта, при принятии решения о том, какими должны быть цели проекта, следует включить долгосрочный мониторинг и техническое обслуживание.

Мониторинг состояния грунта и почвенных слоев следует проводить на ежегодной основе для определения недостатков и оценки состояния почвы. Задокументированные изменения с течением времени могут послужить основой для корректируемого плана технического обслуживания. Могут измениться режимы внесения удобрений, а также могут потребоваться корректировки дренажных систем, посадок или борьбы со снегом и наледью.

Улучшение состояния почвенного слоя также должно произойти, если почвы были рекультивированы. План восстановления почвы будет иметь в качестве своей цели конкретный результат, и достижение этого результата должно поддерживаться и контролироваться.

Оценка почвенных слоев, проведенная во время предварительной разработки проекта, включая оценку обследования, может быть повторена, чтобы можно было задокументировать любые изменения в состоянии почвенных слоев.

Поддержание и восстановление здоровых почвенных слоев может повлиять на все остальные компоненты устойчивого участка строительства.

Обсуждение и заключения. Цели устойчивого развития становятся все более важными показателями успеха инвестиционно-строительных проектов, что является результатом внедрения различных стандартов планирования и регулирования, особенно в отношении вопросов устойчивого развития, которые в настоящее время применяются для контроля и мониторинга процесса строительства. Более того, из-за необходимости участники строительства также требуют его принятия в строительных проектах. Необходимость исследования для инвестиционно-строительных проектов также объясняется выделением и обсуждением различных форм проектов, которые значительно выиграют от его принятия.

Устойчивая строительная площадка защищает и использует потенциал земельного участка и ценность его экологических характеристик. Химические и физические свойства почвенного слоя участка, предназначенного под организацию строительной площадки меняются с течением времени, особенно если вблизи или на самом участке располагались объекты, чьи производимые вредные вещества годами меняли химический состав почвы.

Гибкость в отношении изменений, основанных на результатах оценки, требованиях к восстановлению и техническому обслуживанию (и даже будущих результатах мониторинга), поможет создать более устойчивую строительную площадку.

Список литературы

1. Bespalov V., Kushnarenko T., Paramonova O. Evaluation of ecological and economic efficiency of environmental management in construction. *E3S Web of Conferences.* 2019;135:04030. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913504030

2. Versini P.-A., Gires A., Tchiguirinskaia I., et al. Fractal analysis of green roof spatial implementation in European cities. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2020;49:114–122. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126629

3. Ганичева Л.З. Анализ состояния атмосферного воздуха в промышленных городах Ростовской области. *Инженерный вестник Дона*. 2013;2. URL: https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1701 (дата обращения 30.05.2023).

4. Танасийчук О.В., Кирьянова Л.А. *Тепловые электростанции.* В: Сборник статей Международной научно-практической конференции «В мире науки и инноваций» (в 8 частях). Пермь; 2016. С. 178-180.

5. Баева М.Н. Проблема распределения затрат топлива на производство электрической и тепловой энергии. *Энерго- и ресурсосбережение в теплоэнергетике и социальной сфере: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов, ученых.* 2013;1(1):44–47.

6. Bespalov V., Kotlyarova E. Analysis of the providing environmental safety supervision in construction and reconstruction of facilities in the urban territories. *MATEC Web of Conferences.* 2017;129:05005. https://doi.org/10.1051/matecconf/201712905005

7. Hritonenko N. *Mathematical Modeling in Economics, Ecology and the Environment.* New York: Springer Science & Business Media; 2014. 296 p. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9311-2

8. Gillman M. *An Introduction to Mathematical Models in Ecology and Evolution: Time and Space.* John Wiley & Sons; 2009. 158 p.

9. Щетинина Е.Д., Шемякина А.Е. Определение этапа жизненного цикла продукта и особенности маркетинговых мероприятий на различных этапах жизненного цикла. *Белгородский экономический вестник.* 2021;1(101):59–63.

10. Bespalov V., Gurova O., Volodina M., et al. Analysis of methodological approaches and development of principles for describing properties characterizing the dynamics of the emission and spreading of toxic components of plants of the fuel and energy complex. *MATEC Web of Conferences.* 2018;226:04009. https://doi.org/10.1051/matecconf/201822604009

11. Соснина Е.Н., Маслеева О.В., Пачурин Г.В. и др. *Экологические проблемы возобновляемых источников энергии: монография.* Нижний Новгород: НГТУ; 2014. 164 с.

12. Чебанова С.А., Азаров В.Н., Азаров А.В. и др. Влияние организационно-технологических решений строительства в стесненных условиях на окружающую среду. *Инженерный вестник Дона*. 2018;1. URL: https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4790 (дата обращения 20.05.2023).

References

1. Bespalov V, Kushnarenko T, Paramonova O. Evaluation of ecological and economic efficiency of environmental management in construction. *E3S Web of Conferences.* 2019;135:04030. https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913504030

2. Versini PA, Gires A, Tchiguirinskaia I, et al. Fractal analysis of green roof spatial implementation in European cities. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2020;49:114–122. https://doi.org/10.1016/j.ufug.2020.126629

3. GanichevA LZ. Analiz sostoyaniya atmosfernogo vozdukha v promyshlennykh gorodakh Rostovskoi oblasti. *Inzhenernyi vestnik Dona*. 2013;2. Available at: https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1701 (accessed: 30.05.2023).

4. TanasiichuK OV, Kir'yanovA LA. *Teplovye ehlektrostantsii*. In: Sbornik statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «V mire nauki i innovatsii» (in 8 parts). Perm'; 2016. P. 178-180. (In Russ.).

5. BaevA MN. *Problema raspredeleniya zatrat topliva na proizvodstvo ehlektricheskoi i teplovoi ehnergii. Ehnergo- i resursosberezhenie v teploehnergetike i sotsial'noi sfere: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov, aspirantov, uchenykh*. 2013;1(1):44–47. (In Russ.).

6. Bespalov V, Kotlyarova E. Analysis of the providing environmental safety supervision in construction and reconstruction of facilities in the urban territories. *MATEC Web of Conferences.* 2017;129:05005. https://doi.org/10.1051/matecconf/201712905005

7. Hritonenko N. *Mathematical Modeling in Economics, Ecology and the Environment.* New York: Springer Science & Business Media; 2014. 296 p. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-9311-2

8. Gillman M. *An Introduction to Mathematical Models in Ecology and Evolution: Time and Space.* John Wiley & Sons; 2009. 158 p.

9. Shchetinina ED, Shemyakina AE. Opredelenie ehtapa zhiznennogo tsikla produkta i osobennosti marketingovykh meropriyatii na razlichnykh ehtapakh zhiznennogo tsikla. *Belgorodskii ehkonomicheskii vestnik*. 2021;1(101):59–63. (In Russ.).

10. Bespalov V, Gurova O, Volodina M, et al. Analysis of methodological approaches and development of principles for describing properties characterizing the dynamics of the emission and spreading of toxic components of plants of the fuel and energy complex. *MATEC Web of Conferences.* 2018;226:04009. https://doi.org/10.1051/matecconf/201822604009

11. SosninA EN, MasleevA OV, Pachurin GV, et al. Ehkologicheskie problemy vozobnovlyaemykh istochnikov ehnergii. Monograph. Nizhny Novgorod: NGTU Publ.; 2014. 164 p. (In Russ.).

12. Chebanova SA, Azarov VN, Azarov AV, et al. Vliyanie organizatsionno-tekhnologicheskikh reshenii stroitel'stva v stesnennykh usloviyakh na okruzhayushchuyu sredu. *Inzhenernyi vestnik Dona.* 2018;1. Available at: https://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4790 (accessed: 20.05.2023). (In Russ.).

Об авторе:

Манжилевская Светлана Евгеньевна, доцент кафедры «Организация строительства» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, доцент, ScopusID, ORCID, smanzhilevskaya@yandex.ru

Поступила в редакцию 01.03.2023.
Поступила после рецензирования 27.03.2023.
Принята к публикации 27.03.2023.

Конфликт интересов
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Svetlana E Manzhilevskaya, associate professor of the Construction Management Department, Don State Technical University (1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sc. (Engineering), associate professor, ScopusID, ORCID, smanzhilevskaya@yandex.ru

Received 01.03.2023.
Revised 27.03.2023.
Accepted 27.02.2023.

Conflict of interest statement
The author do not have any conflict of interest.

The author has read and approved the final manuscript.




УДК 69.72.01

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-62-71



Керамический кирпич повышенной морозостойкости из глинистого сырья Кущевского месторождения как строительный материал в динамике архитектурного формообразования

А.А. Наумов ✉, **М.Е. Дымченко**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

✉alexej_naumov@list.ru

Аннотация

Введение. Ставший сегодня широко распространенным архитектурно-строительный дискурс говорит о том, что в условиях развития информационного сетевого типа взаимодействия участников социально-культурного обмена архитектура все же получит свое достойное место как важнейший компонент жизненной среды сообщества.

Несмотря на бурное и успешное развитие прикладных областей архитектуроведения, связанных с динамикой массового строительства (или строительства единичных зданий и сооружений, но изначально направленных на удовлетворение именно массовых потребностей общества, его стереотипизированных представлений о том, каким должен быть облик современного урбанистического мегацентра жизни) и изменением строительных технологий, проектных и инженерных методов, форм и производственных ресурсов, отсутствует четкое понимание того, что представляет собой архитектура в ряду не только научных достижений, но и технико-технологического и материального прогресса цивилизации.

Проблематизацией актуализированной динамики архитектурно-строительной отрасли (индустрии) становится повышение долговечности стеновых строительных материалов, в большей степени — керамического кирпича.

В данной научной статье представлен способ повышения морозостойкости керамического кирпича из глинистого сырья Кущевского месторождения посредством введения в глиномассу структурирующей добавки, обеспечивающей получение требуемых параметров поровой структуры материала.

Материалы и методы. Основой данной научной работы являются результаты исследований по влиянию предлагаемой добавки на морозостойкость керамического черепка, изготовленного из Кущевского глинистого сырья способом пластического формования. Показаны результаты химического анализа глинистого сырья Кущевского месторождения и модифицирующей добавки. В качестве добавки используется отход (кальцийсодержащий сопутствующий продукт), который образуется при выпуске фосфатных минеральных удобрений и имеет вид сферических гранул диаметром 30–100 мкм.

На ртутном порозиметре исследована пористая характеристика керамического черепка, кроме определения физико-механических характеристик обожженных образцов, модифицированных минеральной добавкой. При помощи установки, выполненной на основе кварцевого дилатометра и морозильной камеры, осуществляли дилатометрические измерения при замораживании водонасыщенных образцов до –20 °C.

Результаты исследования. Проведенные опыты показали повышение морозостойкости керамического черепка пластического формования глинистой породы Кущевского месторождения при включении карбонатсодержащей минеральной добавки за счет формирования оптимального пористого строения. Многочисленные последовательные периоды замораживания и оттаивания зафиксировали, что модифицированные образцы показывают хорошее сопротивление возникающим в черепке растягивающим напряжениям. Использование данного способа — введения в глиномассу предлагаемой добавки — на кирпичных заводах гарантированно обеспечит производство строительных керамических изделий с повышенной морозостойкостью.

Обсуждение и заключения. В заключении приводится таблица результатов климатических годовых показателей Российской Федерации, подтверждающая необходимость соответствия строительных материалов повышенным эксплуатационным характеристикам. Использование данного способа на производственных линиях по изготовлению керамического кирпича будет содействовать производству изделий повышенной морозостойкости.

Ключевые слова: строительные материалы, архитектуроведение, строительство, глинистое сырье, карбонатсодержащая минеральная добавка, пластическое формование, морозостойкость керамического кирпича, эстетика архитектуры.

Благодарности: Авторы выражают благодарность заведующему кафедрой «Строительные материалы» В.Д. Котляру, доктору технических наук, профессору, члену Академии технической эстетики и дизайна, чей творческий эмпирический метод, критическая оценка представленных материалов и рекомендации по их рационализации вдохновили на повышение качества данной статьи.

Для цитирования: Наумов А.А., Дымченко М.Е. Керамический кирпич повышенной морозостойкости из глинистого сырья Кущевского месторождения как строительный материал в динамике архитектурного формообразования. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(2):62–71. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-62-71

Original article

Ceramic Bricks of Increased Frost Resistance of Kushchevsky Deposit Clay Raw Material as the Building Material within Architectural Shaping Dynamics

Aleksey A Naumov ✉, **Marina E Dymchenko**

Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation

✉alexej_naumov@list.ru

Abstract

Introduction. The architectural and construction discourse, which has become widespread today, states that even though there develops the informational networking type of interaction among the participants of the socio-cultural exchange, the architecture will still get its rightful place because it is the most important component of the living environment of a community.

Despite the rapid and successful development of applied areas of the Architectural Science caused by the dynamics of mass construction (or construction of single buildings and structures, but those, which are originally clearly meant to meet the mass requirements of the society, its stereotyped ideas about the look of a modern urban metropolis) and changes in construction technologies, design and engineering methods, forms and production resources, there is no clear understanding of what does the architecture implicate, not merely in the frame of scientific achievements, but also in the frame of the technical, technological and material progress of civilization.

The problem set by the latest dynamics in the architectural and construction field (industry) is increasing the durability of wall building materials, mainly the ceramic bricks. The method of increasing the frost resistance of ceramic bricks made of Kushchevsky deposit clay raw material by adding a structuring additive into the clay mass, which ensures the required properties of the material's pore structure, is presented in this scientific article.

Materials and Methods. The present scientific work builds up on the results of the research on the effect of the proposed additive on the frost resistance of a ceramic crock made of Kushchevsky clay raw material by plastic molding. The results of the chemical analyses of the clay raw material of Kushchevsky deposit and the modifying additive are shown. As an additive there is used the waste (a calcium-bearing by-product) which is released during manufacture of the phosphate mineral fertilisers and has the form of spherical granules of 30–100 microns in diameter.

In addition to determining the physical and mechanical characteristics of the burnt samples modified with a mineral additive, the porous characteristics of a ceramic crock were studied using the mercury porosimeter. With the help of the device, which is made on the basis of a quartz dilatometer and a freezer, the dilatometric measurements were carried out by freezing the water-saturated samples at the temperature of up to –20°C.

Results. The carried-out experiments showed the increase in the frost resistance of the plastic-molded ceramic crock made of the clay rock of the Kushchevsky deposit when adding the carbonate-bearing mineral additive due to formation of the optimal porous structure. During numerous successive periods of freezing and thawing there was recorded good resistance of the modified samples to tensile stresses arising in the crock. The implementation of this method (of adding the proposed additive into the clay mass) in the brick factories is guaranteed to provide the manufacture of the ceramic building products with increased frost resistance.

Discussion and Conclusions. Deformation curves of pores calibrating graduation in samples with and without a mineral additive are presented, along with the study results of the samples' deformation during freezing.

In conclusion, a matrix with the results of the climatic annual parameters of the Russian Federation is presented, confirming the need for the building materials to comply with the improved performance characteristics. The implementation of this method in ceramic brick manufacturing lines will foster the production of products with increased frost resistance.

Keywords: building materials, Architectural Science, construction, clay raw material, carbonate-bearing mineral additive, plastic molding, ceramic brick frost resistance, aesthetics of architecture.

Acknowledgements: The authors express their gratitude to V.D. Kotlyar, the head of the "Building Materials" Department, D. Sc. (Engineering), professor, member of the Academy of Technical Aesthetics and Design, whose creative empirical method and critical evaluation of the presented materials and suggestion on their rationalisation have encouraged the authors to improve the quality of this article.

For citation. Naumov AA, Dymchenko ME. Ceramic Bricks of Increased Frost Resistance of Kushchevsky Deposit Clay Raw Material as the Building Material within Architectural Shaping Dynamics. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(2):62–71. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-62-71

Введение. Как и до начала нашей эры, во времена Витрувия — архитектора и автора триады «Прочность. Польза. Красота», — так и позже, во времена зарождения христианства, любое сооружение архитектора было не только ответом на некий культовый или политический запрос общества, но и выражением субъективного переживания мироздания в целом. Так и сегодня меняющаяся «каменная» среда обитания человека находится в прямой зависимости от господствующего в массовом сознании чувства и смысла современности.

Но сегодня современное здание зачастую принимается большей частью общества в том случае, когда в нем меньше архитектурной эстетики. По мнению массового потребителя, архитектура прежде всего должна отвечать потребностям в комфорте, защищённости и ликвидности. Основание прогрессивной динамики архитектурного формообразования в таком контексте чаще всего связывается с развитием инновационных технологий строительства, энергосберегающих технологий и использованием новейших, усовершенствованных строительных материалов [1–3].

Исторические артефакты свидетельствуют, что зодчие Шумерской цивилизации, Вавилона, Древнего Египта, Древней Индии и т. д. возводили стены зданий из керамических кирпичей. Уже с тех времен строители подметили архитектурную выразительность, эстетичность, простоту и скорость производства данного строительного материала из абсолютно доступного глинистого сырья с использованием различных добавок (соломы, тростника и т.п.). Керамические стеновые материалы и сегодня применяются для строительства стен зданий различного назначения.

Решение задач, связанных с морозостойкостью керамических изделий — гарантия долговечности керамических материалов, сохранения механической прочности при сжатии, изгибе и других физико-механических характеристик конструкций. Применение при строительстве гражданских зданий и сооружений материалов с улучшенными характеристиками по морозостойкости дает возможность гарантировать длительный срок службы конструкций из них с минимальными капиталовложениями.

Морозостойкость зависит от пористой структуры материала — это всем известно. Пористая структура керамических изделий, как установлено [4, 5], во многом обусловливается вещественным, гранулометрическим составом и другими природными свойствами глинистого сырья, равно как и технологией изготовления, способами обработки на определенном наборе глиноперерабатывающего оборудования, способом прессования и режимами обжига изделий.

На данный момент изученные методы повышения морозостойкости содержат определенные недостатки, в связи с чем не всегда содействуют увеличению морозостойкости черепка. Увеличение показателя морозостойкости кирпича возможно посредством технической модернизации производства, ротацией не отвечающего современным требованиям или монтажом дополнительного оборудования, совершенствования качества подготовки и гомогенности сырья, повышающих параметры сушки и обжига. Это предполагает значительные материальные и финансовые затраты, что не всегда является достаточно обоснованным или допустимым при ограниченных денежных средствах. Вследствие незначительности распространения высококачественного глинистого сырья, переход на него аналогично повышает капиталовложения на транспортирование и производство. Не всегда повышается морозостойкость изделий и при включении в глинистый материал топливосодержащих добавок. Данное действие приводит к выработке строительного материала со сформировавшимися ахроматическими прогалинами — изъянами кирпича, а значит нарушает стандартные требования на лицевой кирпич. Обжиг при увеличении термопоказателей не всегда продуктивен, не во всех случаях это приводит к повышению качества керамики.

Целью настоящего исследования является повышение морозостойкости керамических изделий путем введения структурирующих добавок, позволяющих изменять пористую структуру обожженного черепка.

Материалы и методы. Как известно, морозостойкие керамические изделия характеризуются пористой структурой, содержащей достаточное количество резервных пор, недоступных для воды при обычных условиях увлажнения материала [4]. Такие поры играют роль резервуаров для вывода излишней влаги при ее перемещении при замораживании изделий. Это позволяет снизить внутренние напряжения в материале и сохранить целостность керамического черепка при попеременном замораживании и оттаивании.

Более разумным методом повышения морозостойкости керамического кирпича представляется введение в глиномассу различных структурирующих добавок, гарантирующих достижение требуемых параметров поровой структуры материала.

Проведены исследования модифицирующей добавки — кальцийсодержащих вторичных продуктов (отходов), выделяемых при выпуске фосфатных минеральных удобрений. Это материал белого цвета в виде зерен с преимущественным размером 30–100 мкм. В таблице 1 представлен химический состав отходов.

Таблица 1

Химический состав компонентов

Наименование материала	SiO_2 своб.	Химический состав, %										
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3 общ.	CaO	MgO	SO_3 общ.	TiO_2	K_2O	Na_2O	P_2O_5	п.п.п.*
Глинистое сырье	27,12	58,03	12,61	4,59	8,07	2,72	0,11	0,63	2,46	1,25	—	9,79
Отходы	—	0,68	1,04	0,44	45,97	2,13	4,00	0,13	0,01	0,03	0,99	44,08

*п.п.п — потери при прокаливании.

Результаты исследования по действию предлагаемого модификатора на морозостойкость керамического черепка, изготовленного из Кущевского глинистого сырья способом пластического формования, представлены в настоящей статье. Глинистое сырье представляется весьма характерным для Юга России при изготовлении кирпича. По показателю пластичности данное сырье принадлежит к группе умеренно пластичного глинистого сырья и является высокочувствительным к сушке (по методу А.Ф. Чижского). На основе анализа химического состава, представленного в таблице 1, его допустимо причислить:

– к кислоглинистому сырью, высоконаполненому красящими оксидами;

– к неспекающемуся, т.к. водопоглощение черепка выше 5 %;

– к легкоплавкому, с превалированием монтмориллонит-гидрослюдистого типа частиц глинистой породы.

Результаты исследования. Апробируемые обожженные образцы из Кущевской чистой глинистой массы, изготовленные методом пластического формования, оказались неморозостойкими. В качестве корректирующей добавки, из-за высокой чувствительности к сушке данного глинистого сырья, в шихту дополнительно вводили кварцевый песок Самарского месторождения.

Введение отходов в количестве 5 % от массы сырья дало возможность кардинально повысить показатель морозостойкости (таблица 2). Указанная дозировка минеральной добавки была установлена прежде проведенными исследованиями [6] и делает возможным достижение высоких значений прочности и морозостойкости.

Таблица 2

Референции обожженных образцов по физико-механическим показателям

Состав материала, %	Температура обжига, °C	Средняя плотность, кг/м^3	Прочность, МПа		% водопоглощения	циклы морозостойкости
			при сжатии	при изгибе		
Глинистая порода — 84 Песок кварцевый — 16 Шифр масс — КЩ	1000	1860	25,2	9,4	13,5	9
Глинистая порода — 85 Песок кварцевый — 15 Отходы — 5 % (сверх 100 % Шифр масс — КЩ-5	1000	1810	29,6	11,2	13,2	84

С помощью ртутного порозиметра были диагностированы размещения пор по габаритам для образцов КЩ и КЩ-5, обожженных при температуре 1000 °С.

По полученным интегральным деформационным линиям фиксации градирования калибровки пор (рис. 1) показатель исследуемого образца с рекомендованной добавкой (кривая линия 2) фиксируется выше кривой линии 1 в области крупнопористого зонирования, квалифицируемой без добавки.

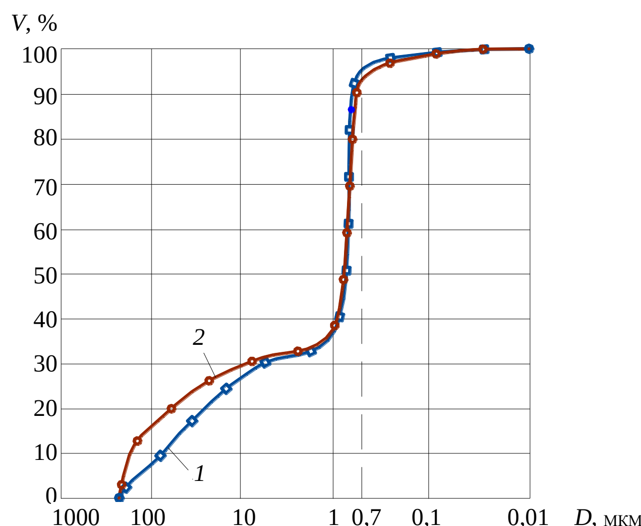


Рис. 1. Интегральная деформационная линия фиксации градирования калибровки пор образцов пластического формования КЩ (кривая 1) и КЩ-5 (кривая 2)

Для декомпенсирования (восполнения) увеличения объема замерзающей воды в опасных порах калибровка резервных пор должна быть обеспеченной в нужной мере.

Структурную характеристику определяли по формуле при условии гипотетического допуска расположения нижней границы резервных пор в области 100 мкм и около 0,7 мкм — для опасных пор:

$$C = \frac{V_p}{V_{on}} \cdot 100, \%, \quad (1)$$

где C — структурная характеристика материала; $V_р$ и $V_{оп}$ — объем пор резервных и объем пор опасных соответственно.

Наряду с этим, полнотелый кирпич считается морозостойким при $C > 9$ %, а пустотелый — при $C > 6$ %.

Определенная по формуле (1) для образцов без добавки (шифр КЩ) структурная характеристика будет следующей:

$$C = \frac{7}{89} \cdot 100\% = 7{,}9\%.$$

Для обожженных образцов КЩ-5 она будет равна:

$$C = \frac{16}{78} \cdot 100\% = 20{,}5\%.$$

Следовательно, введение минеральной добавки дает возможность повысить значение структурной характеристики керамического черепка, что обусловливает и гарантирует повышенную морозостойкость модифицированных образцов.

Исследования по определению различных видов пористости керамического черепка показали, что добавка существенно не оказала воздействие на величину открытой и закрытой пористости. У обожженных керамических образцов (температура обжига 1000 °С) при использовании отходов количество резервной пористости, конкретизированной диспонированием объемов открытой и капиллярной пористости, повысилось почти вдвое (таблица 3).

Таблица 3

Референции обожженных образцов по величине различных видов пористости

Состав масс, %	Показатель пористости, %				
	Общая	Открытая	Капиллярная	Резервная	Закрытая
Глинистая порода — 84 Песок кварцевый — 16	30,9	29,6	25,9	3,7	1,3
Глинистая порода — 85 Песок кварцевый — 15 Отходы — 5 % (сверх 100 %)	31,4	30,0	23,6	6,4	1,4

При выполнении исследований выявлено, что введение предлагаемых отходов в состав шихты индуцирует генерацию рациональной поровой структуры керамического черепка и, соответственно, повышает морозостойкость.

С целью подробного и основательного анализа воздействия на морозостойкость образцов модифицирующей части проведены дилатометрические эксперименты в низком температурном пределе — это апробация процесса деградаций линейных параметров при низкотемпературной консервации и разморозке.

Дилатометрическим диагностикам предшествовала выборка частей размером 50×5×5 мм из экспериментального материала методом выпиливания. Перед экспериментом проводили водонасыщение образцов объемным способом в течение 2 суток. Водонасыщенные образцы подвергали замораживанию и оттаиванию. От температуры 20 °С приступали к охлаждению образцов и снижали температуру до –20 °С. Для обеспечения достоверности результатов опыты проводили на нескольких образцах. В ходе исследования регистрировались данные индикатора линейных перемещений и температура.

На рис. 2 приведена графическая визуализация изменения линейных размеров обожженных образцов, предварительно насыщенных водой, при замораживании. Испытанные образцы изготовлены из глинистого сырья как с добавлением песка, так и с введением предлагаемого модификатора, и обожжены при температуре 1000 °С. Само испытание — замораживание с последующим оттаиванием закрепленных в установке образцов проводили подряд 3 раза (цикла). Между циклами замораживания и оттаивания испытуемые образцы сутки держали в воде комнатной температуры.

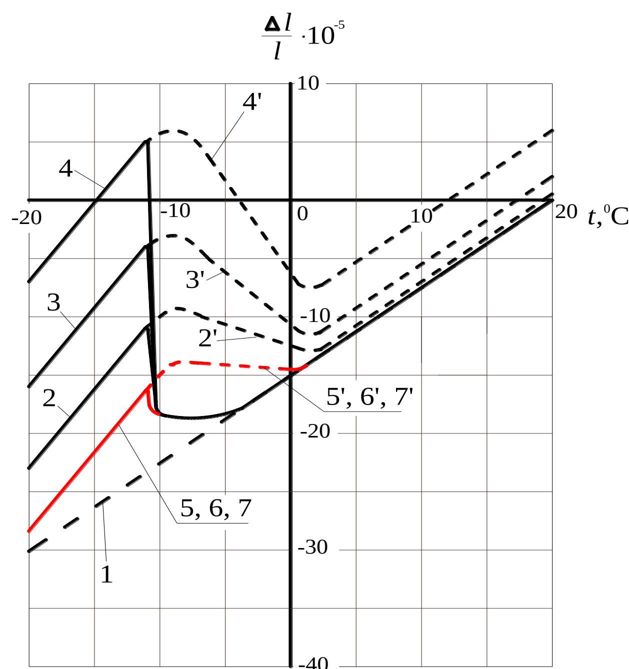


Рис. 2. Изменения линейных параметров образцов
1 — сухие образцы КЩ; 2, 3, 4 — водонасыщенные образцы КЩ при низкотемпературной консервации (при 1-м, 2-м и 3-м цикле); 2', 3', 4'— то же при разморозке; 5, 6, 7 — водонасыщенные образцы КЩ-5 при низкотемпературной консервации (при 1-м, 2-м и 3-м цикле); 5', 6', 7' — то же при разморозке

Воспроизведение линии кривой 1 (рис. 2) показывает изменения в размерах сухих образцов КЩ. Иная параметральная концентрация регистрируется у водонасыщенных образцов. Изначально также наблюдалось их сокращение в размерах (кривая 2). В первый период образования льда (при температуре –3…–4 °С) при его расширении в испытуемых образцах формировались напряжения растяжения, тормозящие уменьшение длины образцов. При дальнейшем охлаждении процесс сокращения размеров образцов замедлялся. При температурах –10…–12 °С наблюдалось резкое увеличение размеров образцов, что можно определить как дилатометрический эффект (εt) [7]. После замерзания значительной части воды, находящейся в порах материала, при последующем охлаждении испытуемый материал вновь начинал сокращаться в размерах. Это обусловлено значительным сжатием льда при охлаждении в отличие от керамики, т. к. температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) льда равен 50×10^{-6} °С$^{-1}$, что намного больше, чем ТКЛР керамики ($6…8\times10^{-6}$ °С$^{-1}$). Вследствие уменьшения напряжения растяжения в материале в дальнейшем опять происходит сжатие образцов.

Деформации при оттаивании образцов характеризует кривая 2' (рис. 2). Замерзшие водонасыщенные образцы, начиная с –20 °С до –7…–8 °С, удлинялись, а также стремительность искажения их линейных параметров в конечном итоге тождественна скорости деформации при замораживании на данном участке. Быструю усадку спровоцировало последующее оттаивание. Но экспериментальными экземплярами, вследствие сохранения остаточного удлинения (ΔR) после размораживания, прежние размеры не воспроизведены.

При первом замораживании образцов КЩ полное удлинение (εt) составило 12×10^{-5}, при втором — 19×10^{-5}, при третьем — 28×10^{-5}. Остаточное удлинение (ΔR) после оттаивания составило $0{,}5\times10^{-5}$, $2{,}0\times10^{-5}$ и $6{,}0\times10^{-5}$, соответственно после первого, второго и третьего циклов замораживания.

О градационном (последовательном) разрушении структуры водонасыщенного обожженного материала, изготовленного из чистого глинистого сырья совместно с песком, при каждом последующем цикле замораживания говорит поэтапное увеличение значений дилатометрических пиков и аккумуляция остаточных деформаций.

Анализ деформации водонасыщенных образцов КЩ-5 при первых трех циклах замораживания, характеризуемых кривыми 5, 6 и 7 (рис. 2), позволяет констатировать совпадение хода кривых. Полное удлинение для рассматриваемых кривых равно $7{,}0\times10^{-5}$ при отсутствии остаточного удлинения. Это является косвенной констатацией:

– эффективности пористо-капиллярной конфигурации (с большим количеством резервных пор (таблица 3) испытываемых образцов с добавкой;

– повышенной морозостойкости испытываемых образцов с добавкой.

В таблице 4 сведены показатели дилатометрических экспериментов водонасыщенных обожженных образцов как с добавкой, так и без нее.

Таблица 4

Дилатометрические индикаторы экспериментальных обожженных образцов

Образцы по видам	Низкотемпературные циклы	Дилатометрические диагностирования		Циклы морозостойкости
		ε_t	ΔR	
КЩ без добавки	I	12×10^{-5}	$0{,}5\times10^{-5}$	9
	II	19×10^{-5}	$2{,}0\times10^{-5}$	
	III	28×10^{-5}	$6{,}0\times10^{-5}$	
КЩ-5 с минеральной добавкой	I	7×10^{-5}	0	84
	II	7×10^{-5}	0	
	III	7×10^{-5}	0	

Проведенные дилатометрические испытания показали двукратное уменьшение относительного удлинения водонасыщенных модифицированных образцов при замораживании, а также деконцентрацию у них остаточного удлинения в сравнении с немодифицированными образцами. Это интерпретируется изменением поровой структуры материала — увеличенным количеством резервных пор у модифицированных образцов. Очевидно, что в массиве изделия это определяет:

– низкие значения растягивающих напряжений;

– параметральную консервацию при многократных низкотемпературных циклах архитектоники черепка.

Обсуждение и заключения. Россия — крупнейшее государство в мире, ее территория в конституционных границах с территорией Крыма составляет 17 125 191 км². Вследствие того, что большая часть территории России находится в зоне холода, а среднегодовая температура воздуха составляет 5,5 °С, что является самой низкой среди всех стран мира, Россия является самой холодной страной в мире (рис. 3).



Рис. 3. Климатическое зонирование территории Российской Федерации

Климатический мониторинг нашей страны фиксирует существенный температурный разброс (таблица 5). В этой связи строительному материалу, предназначенному для наружных работ, во избежание потери своих качеств необходимо иметь повышенные эксплуатационные характеристики, а именно обязан быть обеспечен высокой морозостойкостью.

Морозостойкость определяется величиной цикличности замораживания и оттаивания, выдерживаемой материалом. Низкая морозостойкость строительного материала приведет к утрате его целостности, а в дальнейшем — к неотвратимым разрушительным последствиям.

Таблица 5

Результаты климатических годовых показателей Российской Федерации

Показатели	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
t_{max}, °С	22,2	23,8	30,3	34,0	37,7	43,2	45,4	43,5	41,5	33,7	29,1	25,0
t_{min}, °С	–71,2	–64,4	–60,6	–46,4	–28,9	–9,7	–9,3	–17,1	–25,3	–47,6	–58,5	–62,8

Учитывая вышеизложенное, опираясь на базис выполненных экспериментов, можно прийти к следующим выводам:

– введение карбонатсодержащей минеральной добавки позволяет интенсифицировать морозостойкость керамического черепка пластического формования за счет формирования более приемлемой пористой структуры;

– выполненные дилатометрические диагностирования демонстрировали уменьшения показателей процентного удлинения при низкотемпературных циклах, деконцентрацию остаточного удлинения после оттаивания водонасыщенных модифицированных экземпляров, что можно объяснить большим содержанием в модифицированных образцах резервных пор;

– использование данного способа на производственных линиях по изготовлению керамического кирпича позволит выпускать изделия повышенной морозостойкости;

– повышение данным способом эксплуатационных характеристик керамического кирпича будет способствовать увеличению срока службы строительных конструкций, возведенных из данного материала

Список литературы

1. Шимко В.Т. *Архитектурно-дизайнерское проектирование. Основы теории*. Москва: Архитектура-С; 2006. 296 с.

2. Fabula S., Drummond L.B.W., Young D. (eds.). Socialist and Post-socialist Urbanisms: Critical Reflections from a Global Perspective. *Hungarian Geographical Bulletin.* 2020;69(3):325–327. https://doi.org/10.15201/hungeobull.69.3.8

3. Жеблиенок Н.Н. Градостроительство XXI века будет таким, каким будут градостроители. *Архитектурный Петербург*. 2019;4(59):71–73.

4. Беркман А.С., Мельникова И.Г. *Структура и морозостойкость строительных материалов*. Москва: Госстройиздат; 1962. 166 с.

5. Naumov A., Mal'tseva I., Kurilova S. Increase in frost resistance of a ceramic brick from clay raw materials of the Atyukhtinsky field. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;365(3)032003. https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/3/032003

6. Наумов А.А., Юндин А.Н. Увеличение морозостойкости кирпича полусухого прессования минеральной модифицирующей добавкой. *Известия вузов. Строительство*. 2011;8–9:27–31.

7. Наумов А.А., Юндин А.Н. Дилатометрические характеристики при замораживании водонасыщенного модифицированного керамического черепка. *Известия КГАСУ*. 2012;4(22):319–325.

8. Дымченко М.Е. Форма и материал в архитектуре: противоречия модерна. *Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость*. 2018;8(2(25)):194–205. https://dx.doi.org/10.21285/2227-2917-2018-2-194-205

References

1. Shimko VT. *Arkhitekturno-dizainerskoe proektirovanie. Osnovy teorii*. Moscow: Arkhitektura-S Publ., 2006. 296 p. (In Russ.).

2. Fabula S, Drummond LBW, Young D (eds.). Socialist and Post-socialist Urbanisms: Critical Reflections from a Global Perspective. *Hungarian Geographical Bulletin.* 2020;69(3):325–327. https://doi.org/10.15201/hungeobull.69.3.8

3. Zheblienok NN. Gradostroitel'stvo XXI veka budet takim, kakim budut gradostroiteli. *Arkhitekturnyi Peterburg*. 2019;4(59):71–73. (In Russ.).

4. Berkman AS, Mel'nikova IG. *Struktura i morozostoikost' stroitel'nykh materialov*. Moscow: Gosstroiizdat Publ.; 1962. 166 p. (In Russ.).

5. Naumov A, Mal'tseva I, Kurilova S. Increase in frost resistance of a ceramic brick from clay raw materials of the Atyukhtinsky field. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;365(3)032003. https://doi.org/10.1088/1757-899X/365/3/032003

6. Naumov AA, Yundin AN. Uvelichenie morozostoikosti kirpicha polusukhogo pressovaniya mineral'noi modifitsiruyushchei dobavkoi. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo – News of higher educational institutions. Construction*. 2011;8–9:27–31. (In Russ.).

7. Naumov AA, Yundin AN. Dilatometricheskie kharakteristiki pri zamorazhivanii vodonasyshchennogo modifitsirovannogo keramicheskogo cherepka [Dilatometric Characteristics at Freezing of Water-Saturated Modified Ceramic Crock]. *Izvestiya KGASU – News of KSUAE*. 2012;4(22):319–325. (In Russ.).

8. Dymchenko ME. Forma i material v arkhitekture: protivorechiya moderna [Form and Material in Architecture: the Contradictions of Modernity]. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' – News of higher educational institutions. Investment. Construction. Real Estate.* 2018;8(2(25)):194–205. https://dx.doi.org/10.21285/2227-2917-2018-2-194-205 (In Russ.).

Об авторах:

Наумов Алексей Александрович, доцент кафедры «Строительные материалы» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162), кандидат технических наук, доцент, ORCID, alexej_naumov@list.ru

Дымченко Марина Евгеньевна, доцент кафедры «Строительные материалы» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, ул. Социалистическая, 162), кандидат философских наук, kapitel1073@yandex.ru

Заявленный вклад соавторов:

А.А. Наумов — формирование основной концепции, цели и задачи исследования, проведение расчетов, формирование выводов; М.Е. Дымченко — анализ результатов исследований, подготовка и доработка текста, формирование и корректировка выводов.

Поступила в редакцию 20.02.2023.
Поступила после рецензирования 13.03.2023.
Принята к публикации 15.03.2023.

Конфликт интересов
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:
Aleksey A Naumov, associate professor of the Building Materials Department, Don State Technical University (162, Socialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sc. (Engineering), associate professor, ORCID, alexej_naumov@list.ru

Marina E Dymchenko, associate professor of the Building Materials Department, Don State Technical University (162, Socialisticheskaya St., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sc. (Philosophy), kapitel1073@yandex.ru

Claimed contributorship:
AA Naumov — formulating the main concept, aims and objectives of the study, making calculations, formulating conclusions; ME Dymchenko — research results' analysis, preparation and revision of the text, formulating and adjustment of the conclusions.

Received 20.02.2023.
Revised 13.03.2023.
Accepted 15.03.2023.

Conflict of interest statement
The authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.





УДК 69.1418

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-72-80



Основы обеспечения экологической безопасности строительных материалов на всех этапах их жизненного цикла

Е.П. Лысова, **Е.В. Котлярова** ✉

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

✉ ekkot.arch@gmail.com

Аннотация

Введение. Оценка экологической безопасности для осуществления выбора оптимальной технологии производства строительных материалов является весьма актуальной. В качестве научной проблемы выделена необходимость экологической оценки (оценки экологической безопасности) жизненного цикла любого строительного материала на всех его этапах — от приобретения сырья или изготовления продукции из природных ресурсов до утилизации изделий, при этом принципиальная схема жизненного цикла строительного материала дополнена авторами этапом транспортировки (сырья, готового изделия). В качестве объекта исследования выступал условный строительный материал, а целью исследования явилась экологическая оценка нагрузок каждого этапа жизненного цикла условного строительного материала на компоненты окружающей среды. Данная работа должна способствовать внедрению технологии производства экологически более безопасных строительных материалов.

Материалы и методы. Авторами была рассмотрена взаимосвязь между свойствами материалов и качеством среды с использованием методов сопоставительного и системного анализов, метода графов и квалиметрического метода.

Результаты исследования. В результате проведенных исследований проанализированы потенциальные воздействия условного строительного материала на окружающую среду на всех этапах жизненного цикла — от приобретения сырья, производства и использования продукции до переработки по окончании ее срока службы, рециклинга и заключительной утилизации (цикл «от колыбели до могилы»). Авторами предложено учитывать этапы транспортировки сырья и готовой продукции в жизненном цикле строительных материалов для выполнения более точной оценки их воздействия на окружающую среду. Таким путем можно учесть весь жизненный цикл и включить данные в решение экологических задач, в том числе сократить величину выбросов, сбросов и отходов, что будет способствовать сбережению ресурсов.

Обсуждение и заключения. Экологическая оценка жизненного цикла строительного материала прежде всего должна учитывать вклад его негативного воздействия в обострение глобальных экологических проблем, в том числе глобальное потепление, разрушение озона в стратосферном слое атмосферы, образование озона в тропосферном слое, окисление водных ресурсов и почв, эвтрофикация водоемов, истощение невозобновляемых источников энергии (нефть, газ, уголь). Проведенный авторами анализ позволяет сделать вывод о том, что существенные различия в степени негативного воздействия на компоненты окружающей среды условных строительных материалов наблюдаются на этапе их изготовления.

Ключевые слова: экологическая безопасность, жизненный цикл, градостроительная экология, современные строительные материалы, методы оценки жизненного цикла.

Для цитирования: Лысова Е.П., Котлярова Е.В. Основы обеспечения экологической безопасности строительных материалов на всех этапах их жизненного цикла. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(2):72–80. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-72-80

Original article

Fundamentals of Ensuring the Environmental Safety of Building Materials at all Stages of their Life Cycle

Ekaterina P Lysova, **Ekaterina V Kotlyarova**

Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation

ekkot.arch@gmail.com

Abstract

Introduction. Environmental safety assessment for selecting the optimal technology of building materials manufacture is quite relevant. The necessity of environmental assessment (environmental safety assessment) of each life cycle stage of any building material (from the purchase of raw materials or the manufacture of products out of natural resources to the disposal of products) has been distinguished as a scientific problem for the present research, alongside, the authors have supplemented the schematic diagram of a building material life cycle with the transportation stage (of raw materials, finished products). The object of the study is a notional building material, and the purpose of the study is assessment of the stress imposed on the environment components by each life cycle stage of a notional building material. This work should foster implementation of more environmentally safe technology of building materials manufacture.

Materials and Methods. The authors examined the interrelation between the properties of materials and the quality of the environment using the methods of comparative and system analysis, the graph method and the qualimetric method.

Results. As a result of the conducted research, the potential impacts of a notional building material on the environment at all life cycle stages have been analysed — from purchase of raw materials, manufacture and use of products till their processing at the end of service life, recycling and final disposal (the cycle "from cradle to grave"). The authors proposed to take into account the stages of transportation of raw materials and finished products within the building materials life cycle to make a more accurate assessment of their impact on the environment. This approach allows taking into account the entire life cycle and applying the data to solving the environmental problems, such as reducing the amount of emissions, discharges and wastes, thus, fostering saving the resources.

Discussion and Conclusions. The environmental assessment of a building material life cycle, should, first of all, take into account the share of its negative impact in the aggravation of the global environmental problems, including global warming, ozone destruction in the stratospheric layer of the atmosphere, formation of ozone in the tropospheric layer, oxidation of water resources and soils, eutrophication of water bodies, depletion of non-renewable energy sources (oil, gas, coal). The carried out analysis allows the authors to conclude that significant differences in the degree of negative impact of the notional building materials on the environment components are observed at the stage of their manufacture.

Keywords: environmental safety, life cycle, urban ecology, modern building materials, life cycle assessment methods.

For citation. Lysova EP, Kotlyarova EV. Fundamentals of Ensuring the Environmental Safety of Building Materials at all Stages of their Life Cycle. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(2):72–80. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-72-80

Введение. В Российской Федерации строительство является одной из наиболее динамичных отраслей экономики и играет значительную роль в социальном и экономическом развитии страны. Объемы производства строительных материалов ежегодно возрастают. Увеличивается и глубина проблем, стоящих перед отраслью: рациональность и полнота использования природных ресурсов, подбор и применение оптимального сырья для получения экологически безопасных для человека и окружающей среды строительных материалов, разработка и внедрение экологически эффективных и энергетически экономичных технологий их производства и ряд других [9-12].

Особенно актуальной эта задача является с момента принятия Генеральной Ассамблеей ООН в 2015 году резолюции о преобразовании нашего мира, основным вопросом которой стало направление устойчивого развития на период до 2030 года. Как известно, основой этой повестки является перечень целей, направленных на достижение устойчивого развития в трех его взаимоувязанных компонентах — экологическом, экономическом и социальном [5, 6].

Один из постулатов Концепции устойчивого развития — нахождение баланса в удовлетворении потребностей настоящего и будущего поколения без ущерба для последнего — реализуется в том числе в стандартах серии ИСО 14000, помогающих решить задачи сокращения негативного воздействия на окружающую среду [13, 14]. Их применение при производстве позволяет выполнить экологическую оценку и рациональный выбор строительных материалов, обеспечивая экологическую безопасность окружающей человека среды. Для этого введено по-

нятие «жизненный цикл материала (продукции)» (ЖЦМ и ЖЦП соответственно), под которым понимают последовательные и взаимосвязанные этапы, начиная от приобретения сырья или изготовления продукции из природных ресурсов и до окончательной утилизации. При этом оценка жизненного цикла предполагает анализ нагрузки на окружающую среду материала и распространяется на экологические аспекты и потенциальные воздействия на окружающую среду (например, на использование ресурсов и экологические последствия сбросов и выбросов) на всех этапах жизненного цикла продукции от приобретения сырья, производства и использования продукции до переработки по окончании ее срока службы, рециклинга и заключительной утилизации (цикл «от колыбели до могилы» (a cradle-to-gate life cycle)) [4, 15]. Таким образом можно учесть весь жизненный цикл и включить данные в решение экологических задач, в том числе сократить величину выбросов, сбросов и отходов, что будет способствовать сбережению ресурсов.

Кроме того, не стоит забывать о набирающем обороты по всему миру принципу ESG-управления, а именно степени вовлечения того или иного производства в решение сопутствующих экологических, экономических и социальных проблем [6–8]. Известно, что в краткосрочной перспективе совокупность характеристик ESG это как раз инструмент реализации политики низкоуглеродного развития. Соответственно выбор более экологически безопасных строительных материалов может быть обоснован в производстве для сохранения конкурентоспособности предприятия на рынке строительных материалов и перспективной возможности привлечения иностранных инвестиций, ведь в настоящее время в инвестиционном мире все чаще выбирают именно «зеленые» производства [1–5]. Поддержкой этой тенденции со стороны внутреннего рынка является стратегия низкоуглеродного развития России до 2050 года, которая предусматривает значительное сокращение эмиссии парниковых газов с последующим выходом на углеродную нейтральность.

Материалы и методы. Логично анализировать строительные материалы и оценивать уровень их экологической безопасности не по принципу «здесь и сейчас», а по принципу «везде и всегда» [15]. Этот принцип предполагает оценку негативного влияния как самого материала, так и прямых негативных воздействий (образование вредных веществ и загрязнение ими воздушного бассейна при производстве, образование отходов и загрязнение ими почв, земель, поверхностных и подземных вод и т. п.) и косвенных (изъятие природных ресурсов с возможным последующим дефицитом или потерей сырья, а также дополнительные воздействия на окружающую среду в процессе транспортирования материалов, включая системное ухудшение ее качества и последствия для здоровья человека).

Чтобы обеспечить объективность по результатам выполненной оценки, нами была рассмотрена взаимосвязь между параметрами «свойства материалов» и «качество среды».

Экологическая оценка строительных материалов может быть выполнена по различным методическим подходам, основанным на стандарте ИСО 14000 (рис. 1), в каждом из которых обязательно должны быть проанализированы антропогенные нагрузки на окружающую среду согласно жизненного цикла строительного материала. При этом под эксплуатацией строительного материала нами принята его «жизнь» в объекте, включая соблюдение правил эксплуатации для поддержания его качества и совместимость с материалами, используемыми для продления периода его использования (ремонт, реставрация или реконструкция).

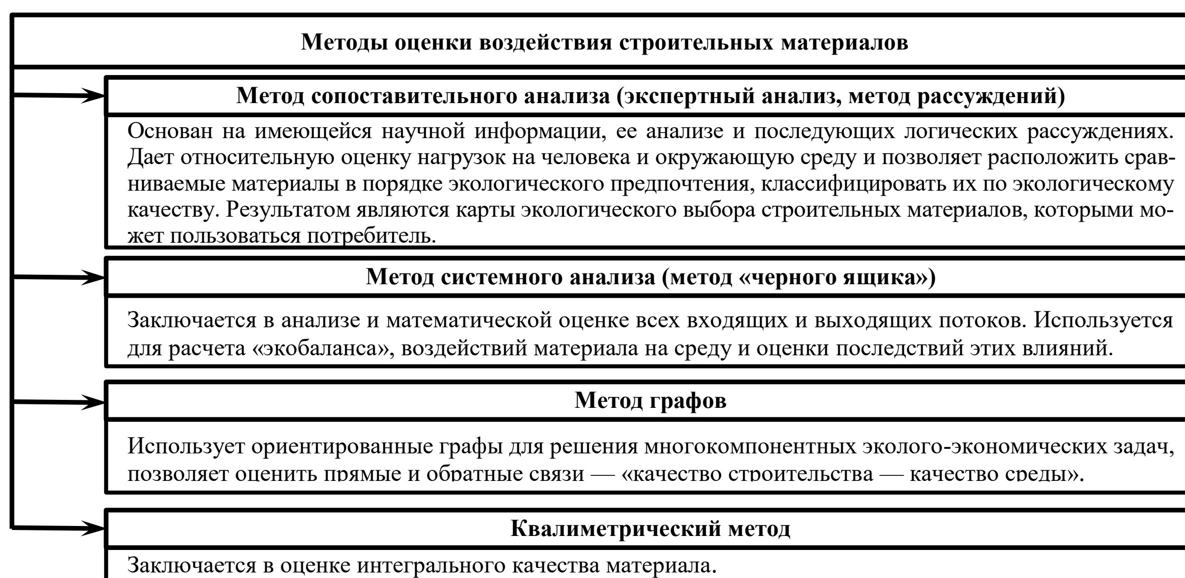


Рис. 1. Методы оценки воздействия строительных материалов на компоненты окружающей среды

По нашему мнению, этап транспортировки (добываемого сырья или готового строительного материала, а также отработанного для его повторного включения в технологический процесс) подлежит обязательному включению в жизненный цикл строительных материалов, т. к. также оказывает значимое негативное воздействие на окружающую среду. С целью сведения к минимуму негативного воздействия этапа транспортировки сырья на окружающую среду следует использовать то сырье, которое добывается в непосредственной близости к месту производства материала.

Результаты исследования. Научные исследования, которым посвящена данная статья, направлены, прежде всего, на достижение цели в области устойчивого развития ((ЦУР) Sustainable Development Goals (SDGs)) 12 для обеспечения перехода к рациональным моделям потребления и производства.

Мы считаем, что предлагаемый ниже подход будет способствовать более рациональному освоению и эффективному использованию природных ресурсов, экологически рациональному использованию отходов на протяжении жизненного цикла с целью уменьшения их попадания в воздушную среду, водные объекты и почву и минимизации негативного воздействия строительных материалов на здоровье людей и окружающую среду, а также способствовать уменьшению объема отходов путем их переработки и повторного использования.

Также решение поставленных вопросов будет способствовать достижению Цели устойчивого развития 11 в части обеспечения экологической устойчивости городов и населенных пунктов путем уменьшения негативного воздействия городов при повышении внимания к качеству атмосферного воздуха и утилизации различных классов отходов [1–4, 6].

В соответствии со стандартами серии ИСО 14000 оценка негативного воздействия этапов жизненного цикла материалов на компоненты окружающей среды должна в обязательном порядке включать их потенциальное участие в обострении глобальных экологических проблем (разрушение озонового слоя, изменение климата, выпадение кислотных дождей, смог, истощение природных ресурсов, в первую очередь, запасов нефти, угля и природного газа, истощение запасов пресной воды и загрязнение вод и т. п.).

Этапы принципиальной схемы экологической оценки нагрузок жизненного цикла строительных материалов представлены на рис. 2.



Рис. 2. Принципиальная схема жизненного цикла строительных материалов и нагрузок его этапов на компоненты окружающей среды

Экологическая оценка нагрузок этапов жизненного цикла условного строительного материала (рис. 3) проводилась нами с учетом следующих показателей:

– запасы и исчерпаемость в ближайшей и отдаленной перспективе сырьевых материалов и энергетических ресурсов, необходимых для производства строительного материала;

– повреждение экосистем, разрушение/изменение природных ландшафтов (преимущественно при добыче сырьевых материалов);

– объемы поступления загрязняющих веществ (твердых, жидких и газообразных) в окружающую среду при добыче сырьевых и производстве строительных материалов, степень их возможного негативного воздействия на здоровье человека и компоненты окружающей среды;

– объем потребляемой энергии на всех этапах жизненного цикла;

– объем образующихся отходов и возможность их вторичного использования.

Уточнение негативного воздействия на компоненты окружающей среды требует детального знания технологии производства, стадии которого удобно представить в виде балансовой схемы материальных потоков. Можно сказать, что от количества стадий технологического процесса зависит экологическая нагрузка.

Выбросы оксидов азота, углерода, диоксида серы учитываются в экологической оценке жизненного цикла в первую очередь, т. к. могут привести к обострению глобальных экологических проблем — потеплению (парниковый эффект), выпадению кислотных дождей.

Сравнительная экологическая оценка жизненных циклов различных строительных материалов может быть выполнена по методике, предложенной Князевой В.П. [16], с учетом всех этапов (рис. 3).

В методике используется метод балльной оценки, когда на всех этапах жизненного цикла материала его возможное негативное воздействие на окружающую среду оценивается по ряду «экофакторов»: нарушение экологического равновесия в экосистеме, нехватка природного ресурса, поступление загрязняющих веществ в атмосферу, потребление энергии, влияние на здоровье человека, образование отходов (и возможность извлечения из них вторичного сырья для последующей переработки).

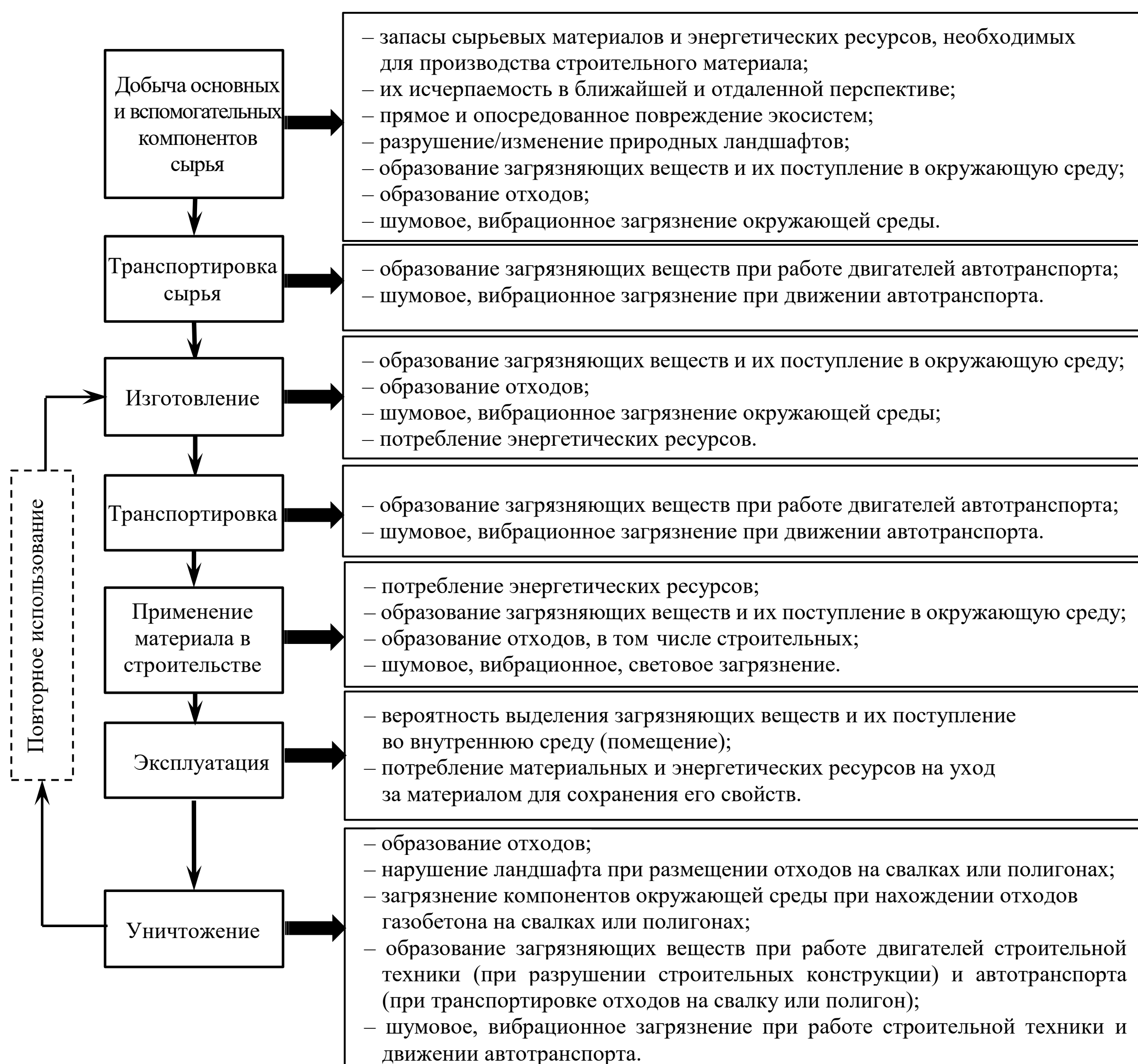


Рис. 3. Экологическая оценка нагрузок этапов жизненного цикла условного строительного материала

Перечисленные «экофакторы» являются показателями экологических свойств материала. Смысловые значения вышеперечисленных «экофакторов», заложенные автором методики, необходимые для оценки уровня их негативного влияния в баллах, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Смысловые значения «экофакторов» в рамках ИСО 14000 по [16]

Наименование «экофактора»	Характеристика «экофактора»
Нарушение экологического равновесия в экосистеме	Изменения состава экосистемы, как компонентного, так и энергетического, а также временной промежуток, необходимый для восстановления исходных ее свойств, характеризуют степень нарушения экологического равновесия в ней.
Нехватка природного ресурса	Запас природных ресурсов, которые используются постоянно, с возрастающей интенсивностью, часто нерационально и расточительно, исчерпаем и конечен. Скорость изъятия природных ресурсов существенно превышает скорость их восстановления.
Поступление загрязняющих веществ в атмосферу	Поступление загрязняющих веществ в атмосферу следует учитывать на этапах добычи и транспортировки сырья, его хранения, производства и транспортировки материала, а также его использования. Загрязняющие вещества, поступление которых в атмосферу усугубляет глобальные экологические проблемы (разрушение озонового слоя, глобальное потепление, выпадение кислотных дождей), относят к категории высокоопасных. Это парниковые газы (диоксид углерода, оксид азота, метан, хлорфторуглероды и т.п.), а также диоксид серы и азота. Загрязняющие вещества, поступающие в атмосферу при авариях и катастрофах природного и техногенного характера (например, аварии при производстве нефти, пожары и т. п.), относят к категории чрезвычайно опасных. Даже в случае минимальной вероятности аварии или катастрофы этот «экофактор» характеризуется наибольшим негативным воздействием и требует отказа от изготовления материала.
Потребление энергии	Учитывается не только само количество энергии, которое было затрачено для добычи сырья, его транспортировки и производства из него материала, но и количество органических видов топлива, затраченное для производства этой энергии, а также возможное поступление высокоопасных и чрезвычайно опасных загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании этого топлива.
Влияние на здоровье человека	Влияние материала на здоровье человека оценивается на каждом этапе его жизненного цикла (добыча основных и вспомогательных компонентов сырья, его транспортировка, изготовление, транспортировка и использование материала в строительстве, эксплуатация, уничтожение). Основными оценочными критериями прямой опасности материала для человека являются: – санитарно-гигиенические свойства (наличие в материале вредных для здоровья веществ, класс их опасности, наличие антистатических и бактериостатических свойств; наличие запаха, диффузионная активность); – радиационная опасность (класс безопасности материала по содержанию естественных радионуклидов); – пожарная опасность (горючесть, воспламеняемость, распространение пламени, дымообразующая способность и токсичность).
Образование отходов	Образование отходов и их негативное воздействие на окружающую среду может происходить на каждом этапе жизненного цикла материала. Показатель учитывает также возможность вторичного использования компонентов отходов.

Степень негативного воздействия на состояние окружающей среды каждого «экофактора» в жизненном цикле материала целесообразно оценивать в баллах (таблица 2) [16].

Таблица 2

Балльная оценка «экофакторов» в жизненном цикле материала

Степень негативного воздействия «экофактора» на состояние окружающей среды	Оценка, баллы
Наибольшее негативное воздействие	3
Существенное негативное воздействие	2
Наименьшее негативное воздействие	1
Негативное воздействие отсутствует	0

При сумме баллов от 0 до 9 экологическую нагрузку материала на окружающую среду на всех этапах жизненного цикла считают низкой, от 7 до 12 — средней (приемлемой), от 13 до 18 — высокой [16].

Обсуждение и заключения. Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1) различные виды строительных материалов целесообразно сравнивать между собой с помощью экологической оценки всех этапов их жизненных циклов и представлять в сводной таблице;

2) изготовление любого материала невозможно без затрат ресурсов, как материальных, так и энергетических, следовательно, «экологически чистых» материалов не существует;

3) рассмотрение возможных негативных воздействий на человека и окружающую среду на всех этапах жизненного цикла строительного материала позволяет выделить наиболее «грязный» этап (этапы) и оценить возможность снижения этого воздействия, а также срок устранения повреждений, нанесенных окружающей среде при его использовании;

4) в случае, если производимый материал характеризуется значительным негативным воздействием на окружающую среду (13–18 баллов), от его производства целесообразно отказаться. Такое решение будет способствовать внедрению технологий производства материалов, обладающих большей экологичностью и безопасностью для человека и окружающей среды.

По нашему мнению, введение в жизненный цикл этапа транспортировки сырья и готовой продукции позволит более точно оценить негативное воздействие строительных материалов на компоненты окружающей среды.

Список литературы

1. Bespalov V., Kotlyarova E. Assessment of the level of impact and degree of environmental safety of industrial facilities in the urban environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;177:012036. https://doi.org/10.1088/1755-1315/177/1/012036

2. Bespalov V., Kotlyarova E. Methodological bases for assessing the level of environmental safety of dynamically developing urbanized territories. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;1001:012101. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1001/1/012101

3. Halding P.S. Reduction of the Carbon Footprint of Precast Columns by Combining Normal and Light Aggregate Concrete. *Buildings.* 2022;12(2):215. https://doi.org/10.3390/buildings12020215

4. Colangelo F., Forcina A., Farina I. et al. Life Cycle Assessment (LCA) of Different Kinds of Concrete Containing Waste for Sustainable Construction. *Buildings.* 2018;8(5):70. https://doi.org/10.3390/buildings8050070

5. Bovea M.D., Powell J.C. Developments in life cycle assessment applied to evaluate the environmental performance of construction and demolition wastes. *Waste Management.* 2016;50:151–172. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.036

6. Ensign P.C. Business Models and Sustainable Development Goals. *Sustainability.* 2022;14:2558. https://doi.org/10.3390/su14052558

7. Daugaard D., Ding A. Global Drivers for ESG Performance: The Body of Knowledge. *Sustainability.* 2022;14(4):2322. https://doi.org/10.3390/su14042322

8. Verstina N., Solopova N., Taskaeva N. et al. New Approach to Assessing the Energy Efficiency of Industrial Facilities. *Buildings.* 2022;12(2):191. https://doi.org/10.3390/buildings12020191

9. Reyes-Quijije M., Rocha-Tamayo A., García-Troncoso N. et al. Preparation, Characterization, and Life Cycle Assessment of Aerated Concrete Blocks: A Case Study in Guayaquil City, Ecuador. *Applied Science.* 2022;12(4):1913. https://doi.org/10.3390/app12041913

10. Pushkar S., Yezioro A. Life Cycle Assessment Meeting Energy Standard Performance: An Office Building Case Study. *Buildings.* 2022;12(2):157. https://doi.org/10.3390/buildings12020157

11. Ferretti D., Michelini E. The Effect of Density on the Delicate Balance between Structural Requirements and Environmental Issues for AAC Blocks: An Experimental Investigation. *Sustainability.* 2021;13(23):13186. https://doi.org/10.3390/su132313186

12. Yang Q., Kong L., Tong H. et al. Evaluation Model of Environmental Impacts of Insulation Building Envelopes. *Sustainability.* 2020;12(6):2258. https://doi.org/10.3390/su12062258

13. Chen P.-K., Lujan-Blanco I., Fortuny-Santos J. et al. Manufacturing and Environmental Sustainability: The Effects of Employee Involvement, Stakeholder Pressure and ISO 14001. *Sustainability.* 2020;12(18):7258. https://doi.org/10.3390/su12187258

14. Ociepa-Kubicka A., Deska I., Ociepa E. Organizations towards the Evaluation of Environmental Management Tools ISO 14001 and EMAS. *Energies.* 2021;14(16):4870. https://doi.org/10.3390/en14164870

15. Kisku N., Joshi H., Ansari M. et al. A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material. *Construction and Building Materials.* 2017;131:721–740. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.029

16. Князева В.П. *Экологические аспекты выбора материалов в архитектурном проектировании.* Москва: Архитектура-С; 2006. 296 с. URL: http://books.totalarch.com/ecological_aspects_of_the_choice_of_materials_in_architectural_

References

1. Bespalov V, Kotlyarova E. Assessment of the level of impact and degree of environmental safety of industrial facilities in the urban environment. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;177:012036. https://doi.org/10.1088/1755-1315/177/1/012036

2. Bespalov V, Kotlyarova E. Methodological bases for assessing the level of environmental safety of dynamically developing urbanized territories. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020;1001:012101. https://doi.org/10.1088/1757-899X/1001/1/012101

3. Halding PS. Reduction of the Carbon Footprint of Precast Columns by Combining Normal and Light Aggregate Concrete. *Buildings.* 2022;12(2):215. https://doi.org/10.3390/buildings12020215

4. Colangelo F, Forcina A, Farina I. et al. Life Cycle Assessment (LCA) of Different Kinds of Concrete Containing Waste for Sustainable Construction. *Buildings.* 2018;8(5):70. https://doi.org/10.3390/buildings8050070

5. Bovea MD, Powell JC. Developments in life cycle assessment applied to evaluate the environmental performance of construction and demolition wastes. *Waste Management.* 2016;50:151–172. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.01.036

6. Ensign PC. Business Models and Sustainable Development Goals. *Sustainability.* 2022;14:2558. https://doi.org/10.3390/su14052558

7. Daugaard D, Ding A. Global Drivers for ESG Performance: The Body of Knowledge. *Sustainability.* 2022;14(4):2322. https://doi.org/10.3390/su14042322

8. Verstina N, Solopova N, Taskaeva N. et al. New Approach to Assessing the Energy Efficiency of Industrial Facilities. *Buildings.* 2022;12(2):191. https://doi.org/10.3390/buildings12020191

9. Reyes-Quijije M, Rocha-Tamayo A, García-Troncoso N. et al. Preparation, Characterization, and Life Cycle Assessment of Aerated Concrete Blocks: A Case Study in Guayaquil City, Ecuador. *Applied Science.* 2022;12(4):1913. https://doi.org/10.3390/app12041913

10. Pushkar S, Yezioro A. Life Cycle Assessment Meeting Energy Standard Performance: An Office Building Case Study. *Buildings.* 2022;12(2):157. https://doi.org/10.3390/buildings12020157

11. Ferretti D, Michelini E. The Effect of Density on the Delicate Balance between Structural Requirements and Environmental Issues for AAC Blocks: An Experimental Investigation. *Sustainability.* 2021;13(23):13186. https://doi.org/10.3390/su132313186

12. Yang Q, Kong L, Tong H. et al. Evaluation Model of Environmental Impacts of Insulation Building Envelopes. *Sustainability.* 2020;12(6):2258. https://doi.org/10.3390/su12062258

13. Chen P-K, Lujan-Blanco I, Fortuny-Santos J. et al. Manufacturing and Environmental Sustainability: The Effects of Employee Involvement, Stakeholder Pressure and ISO 14001. *Sustainability.* 2020;12(18):7258. https://doi.org/10.3390/su12187258

14. Ociepa-Kubicka A, Deska I, Ociepa E. Organizations towards the Evaluation of Environmental Management Tools ISO 14001 and EMAS. *Energies.* 2021;14(16):4870. https://doi.org/10.3390/en14164870

15. Kisku N, Joshi H, Ansari M. et al. A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material. *Construction and Building Materials.* 2017;131:721–740. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.029

16. Knyazeva VP. Ekologicheskie aspekty vybora materialov v arhitekturnom proektirovanii. Moscow: Arhitektura-S Publ.; 2006. 296 p. Available at: http://books.totalarch.com/ecological_aspects_of_the_choice_of_materials_in_architectural

Об авторах:

Лысова Екатерина Петровна, доцент кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ScopusID, ORCID, katerina.lysova0803@gmail.com

Котлярова Екатерина Владимировна, доцент кафедры «Инженерная защита окружающей среды» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат экономических наук, ORCID, ekkot.arch@gmail.com

Заявленный вклад соавторов:

Е.П. Лысова — формирование целей и задач исследования, анализ результатов исследований, графическое оформление; Е.В. Котлярова — формирование основной концепции, доработка текста, корректировка выводов.

Поступила в редакцию 20.03.2023.
Поступила после рецензирования 14.04.2023.
Принята к публикации 17.04.2023.

Конфликт интересов
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

About the Authors:
Ekaterina P Lysova, associate professor of the Environmental Engineering Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sc. (Engineering), ScopusID, ORCID, katerina.lysova0803@gmail.com
Ekaterina V Kotlyarova, associate professor of the Environmental Engineering Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sc. (Economics), ORCID, ekkot.arch@gmail.com

Claimed contributorship:
EP Lysova — formulating the aims and objectives of the research, research results' analysis, graphical presentation; EV Kotlyarova — formulating the main concept, revision of the text, correction of the conclusions.

Received 20.03.2023.
Revised 14.04.2023.
Accepted 17.04.2023.

Conflict of interest statement
The authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.





УДК 711.4-112

Научная статья

https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-81-86



Анализ функционально-планировочного развития приречных территорий современных городов

Д.А. Протопопова ✉, **Е.С. Кравченко**, **М.Д. Дарсигов**

Донской государственный технический университет, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

✉ Darya.a@inbox.ru

Аннотация

Введение. Приречные городские территории являются особой функционально-планировочной системой, так как в своем формировании в первую очередь подчинены природно-климатическим факторам, создающим дополнительную экологическую и антропогенную нестабильную нагрузку. В связи с этим исследуемые территории требуют особого внимания и разработки собственной функционально-планировочной структуры. Целью данного исследования является обобщение вариантов развития приречных территорий в городах и выявление их особенностей в зависимости от природно-климатических условий местности.

Материалы и методы. Для исследования был применен сравнительный и комплексный анализы информации, собранной в ходе изучения вопросов планировочного развития приречных территорий крупных городов Российской Федерации. Полученные данные синтезировались из различных открытых источников как практической сферы деятельности, так и теоретической. Сравнительный анализ позволил сделать ряд выводов о перспективах планировочного развития приречных территорий с точки зрения функционального зонирования.

Результаты исследования. В качестве объекта исследования рассмотрены приречные территории в границах города. Результаты исследования показали общие направления и перспективы развития исследуемых территорий приречных городов. В статье представлен обзор накопленного опыта зонирования приречных территорий с различными типологическими характеристиками.

Обсуждение и заключения. Выполненный анализ планировочного развития приречных территорий крупных городов позволил установить, что в настоящее время развитие территорий направлено на формирование и поддержание социально-общественной и культурной жизни горожан. Авторами рассмотрена перспектива исследования планировочных структур каждой функциональной зоны приречной территории в отдельности с учетом ее пространственного развития.

Ключевые слова: урбанистика, приречный город, функциональное зонирование территории, планировочное развитие города, пространственное развитие города.

Для цитирования: Протопопова Д.А., Кравченко Е.С., Дарсигов М.Д. Анализ функционально-планировочного развития приречных территорий современных городов. *Современные тенденции в строительстве, градостроительстве и планировке территорий*. 2023;2(2):81–86. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-81-86

Original article

Analysis of the Functional and Planning Development of the Modern Cities' Riverine Territories

Darya A Protopopova ✉, **Elizaveta S Kravchenko**, **Mikhail D Darsigov**

Don State Technical University, 1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation

✉ Darya.a@inbox.ru

Abstract

Introduction. Urban riverine territories are the special functional and planning ecosystem, because in the course of formation they are first of all subjected to the natural and climatic factors that create additional unstable ecological and

anthropogenic load. In this regard, the studied territories require special attention and need their own functional and planning structure to be developed. The aim of this study is to make an overview of the options of the urban riverine territories development and to identify their features depending on the natural and climatic conditions of the area.

Materials and Methods. The comparative and comprehensive analyses were applied to examine the data collected during studying the issues of planning development of the large cities' of the Russian Federation riverine territories. The data obtained from the various open sources, both practical and theoretical ones, was synthesised. Comparative analysis allowed making a number of conclusions on the planning development perspectives of the riverine territories from the point of view of functional zoning.

Results. The riverine territories within the city boundaries were looked into as an object of the research. The results of the study showed the general trends and perspectives in development of the studied territories in the riverine cities. The overview of the accumulated experience of zoning the riverine territories having various typological characteristics is presented in the article.

Discussion and Conclusions. The analysis of the planning development of the large cities' riverine territories allowed the authors to state that at present the development of territories is aimed at forming and supporting the social and cultural life of the citizens. The authors examined research perspectives of the planning structures of each of the riverine territory functional zone separately, taking into account its spatial development.

Keywords: urban planning, riverine city, functional zoning of a territory, planning development of a city, spatial development of a city.

For citation. Protopopova DA, Kravchenko ES, Darsigov MD. Analysis of the Functional and Planning Development of the Modern Cities' Riverine Territories. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2023;2(2):81–86. https://doi.org/10.23947/2949-1835-2023-2-2-81-86

Введение. Становление градостроительства как науки происходит с середины XIX века. За это время города претерпели множество трансформаций, которые отразились на функциональном, архитектурном и пространственном решении территорий. Под влиянием природно-климатических, геополитических и исторических факторов города приобретают новые очертания. Терминологический аппарат обогатился терминами, которые мы в профессиональной среде используем как базу для формирования новых концепций развития городского пространства. «Архитектура», «планировка», «пространство» перестали быть только самостоятельными терминами в контексте градостроительства, они крепко переплелись и составляют сложные взаимосвязанные структуры: «архитектурно-планировочный», «территориально-пространственный», «архитектурно-пространственный» и другие сочетания в зависимости от специфики решаемых вопросов. Рассматривая город как сложную многокомпонентную структуру и изучая его в различных контекстах, можно получить набор данных об организации компактного сочетания и гибкой пространственной взаимосвязи объектов, которые раньше не имели функциональной связи, например, промышленных объектов и культурно-креативных пространств, жилых зданий и торгово-развлекательных центров, выставочных комплексов и отелей и т. п. Такая многофункциональность материального окружения дает человеку свободу выбора и экономию времени, он получает возможность использовать многомерное пространство, решая сразу несколько задач.

Функционирование и организация хозяйственно-экономической деятельности в городах уже давно не формируется вокруг соборной площади и рынка, но по-прежнему устойчивым во времени фактором в организации территории являются природно-климатические условия и в частности геологические и гидрологические характеристики.

Наличие в населенных пунктах различных водных объектов, которыми для подавляющего большинства являются реки с прилегающими к ним территориями, в планировочной структуре города формирует уникальное функционально-типологическое образование — приречные территории, которые несут в себе определенные экономические, социальные и экологические ресурсы [1].

Цель данного исследования заключается в анализе и обобщении вариантов функционально-планировочного развития городских приречных территорий с учетом природно-климатических факторов.

Материалы и методы. Основным методом научно-исследовательской работы является метод диалектической логики, основанный на выявлении общих параметров исследуемого вопроса и его последующем разложении на структурные элементы. Также был применен сравнительный и комплексный анализы информации, собранной в ходе исследования вопросов планировочного развития приречных территорий крупных городов Российской Федерации.

Вопрос планировочного развития приречных городов достаточно актуален в связи с ростом численности населения и расширением городских территорий не только в России, но и во всем остальном мире. Полученные данные синтезировались исходя из различных концептуальных моделей и теорий, представленных в открытых источниках. В область исследования вошли объекты, расположенные на территории Российской Федерации.

Приводятся сведения об условиях изменения функционального зонирования приречных территорий городов в период до 2021 года. Сравнительный анализ позволил сделать ряд выводов о перспективах планировочного развития приречных территорий с точки зрения функционального зонирования [2].

Результаты исследования. Взаимосвязь планировочного и функционального развития приречных городских территорий обусловлена постоянно меняющейся и растущей структурой современных городов, увеличением транспортной нагрузки, приростом населения, изменениями экологической обстановки и общими требованиями к комфорту городской жизни, социально-экономического статуса самого города и его культурно-исторической составляющей [3].

Говоря о приречных городских территориях, их планировочная и функциональная организация, размещение зон различного назначения и взаимосвязь основываются в первую очередь на параметрах водного объекта, общих природно-климатических и ландшафтных условиях.

Планировочные структуры населенных мест разнообразны и сводятся к нескольким типам. Классификация обычно производится по двум основаниям: компактности размещения застройки и характеру организации транспортных магистралей, что укладывается в устойчивые понятия «Каркас» и «Ткань» города [5]. Для дальнейшего рассмотрения и принятия классификаций приречных территорий в данном исследовании авторы опираются на классификацию планировочной структуры по компактности размещения застройки. В рамках данной классификации размещения основных территорий выделяют компактную, расчлененную и рассредоточенную структуры населенных мест (рис. 1).

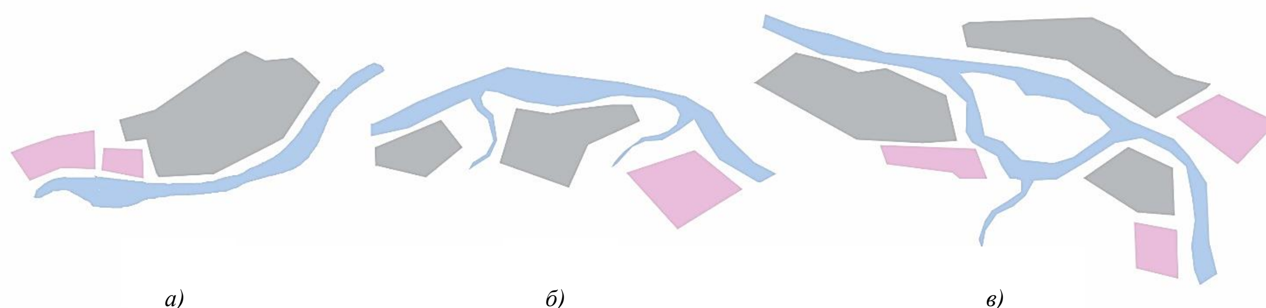


Рис. 1. Структура населенных мест:
а — компактная; *б* — расчлененная; *в* — рассредоточенная

Основной причиной разорванности планировочной структуры могут стать природно-климатические особенности территории: рельеф, наличие водоемов, разветвление русел рек, а также стремление отдалить производственные объекты от селитебных территорий [5, 9].

Формирование территорий приречных городов также может развиваться по двум сценариям — развитие вдоль одного берега и развитие по обоим берегам реки.

Каждый из имеющихся сценариев предполагает определенную внешнюю и внутреннюю связь территорий, с учетом организации которой можно выделить несколько типов пространственной структуры приречных территорий: открытая, закрытая и смешанная. Открытую планировочную структуру характеризует большое количество внешних и внутренних связей двух берегов реки. Для закрытой планировочной структуры характерно наличие внешних связей и отсутствие внутренних связей между берегами. Смешанная планировочная структура приречной территории включает в себя как внешние, так и внутренние связи берегов, но их количество существенно ниже, чем при открытом типе [4].

Рассмотренные классификации дают нам общее понимание структуры и формирования приречной территории для ее дальнейшего функционального зонирования.

В результате урбанизации городской среды береговые полосы приобрели более утилитарное назначение. Под влиянием повышения роли хозяйственной функции в разное время территории вблизи рек застраивались

промышленно-складскими и инфраструктурными объектами. Помимо промышленных объектов прибрежная территория была и остается привлекательной с точки зрения социально-культурного развития, так вдоль реки возникали новые жилые массивы, общественные центры, рекреационные пространства.

За основу современного функционального зонирования приречных территорий можно взять общую схему функционального зонирования всего города. Таким образом исследуемые территории можно разделить на следующие функциональные зоны: жилые зоны, общественно-деловые, производственные, зоны инженерной и транспортной инфраструктур, сельскохозяйственные зоны, рекреационные зоны, особо охраняемые территории, зоны специального назначения, зоны размещения военных объектов и иные виды территориальных зон [6–8].

Путем анализа функционально-планировочного развития приречных территорий современных городов можно сделать выводы о перспективе развития города, освоении новых территорий, переносе функциональных зон в другие части города, создавая комфортную и экологичную среду для его жителей.

Обсуждение и заключения. За последние несколько лет обозначена тенденция насыщения приречных городских территорий различными функциями общественно-делового, жилого и рекреационного назначения. Многие объекты производственной и транспортной инфраструктуры, некогда расположенные на окраине городской застройки, с течением времени и развития города оказываются в черте города, нарушая градостроительные регламенты и ухудшая экологическую ситуацию. Промышленные объекты выносятся на свободные территории соответствующего назначения, освобождая место для социально-культурной жизни города, а имеющиеся нефункционирующие объекты производственного назначения подвергаются реновации и ревалоризации. Оптимизация зонирования приречных территорий позволит наладить процессы территориального планирования, даст возможность улучшить экологическую ситуацию, создать продуманное и удобное для жизни пространство. При дальнейшем исследовании целесообразно рассмотрение планировочных структур каждой функциональной зоны приречной территории в отдельности с учетом ее пространственного развития.

Список литературы

1. Баклаженко Е.В. Классификация и зонирование приречных территорий малых городов на примере Белгородской области. *Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова.* 2020;8:61–68. https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-8-61-68

2. Дарсигов М.А., Протопопова Д.А. *Мировой опыт развития приречных городов.* В: Материалы международной научно-практической конференции факультета промышленного и гражданского строительства «Строительство и архитектура — 2022». Ростов-на-Дону; 2022. С. 398–399.

3. Кравченко Е.С., Протопопова Д.А. *Актуальность планировочного развития пространственной структуры приречных городских территорий.* В: Материалы международной научно-практической конференции факультета промышленного и гражданского строительства «Строительство и архитектура — 2022». Ростов-на-Дону; 2022. С. 400–401.

4. Садковская О.Е. Архитектурно-планировочная организация ландшафтов зарегулированных рек малых и средних городов юга России. *Интернет-вестник ВолгГАСУ.* 2010;1(10):3.

5. Чернявская Е.Н. *Градостроительство с основами архитектуры. Современный этап : учебное пособие для вузов.* Москва: Издательство Юрайт; 2023. 75 с.

6. Косицкий Я.В. *Архитектурно-планировочное развитие городов: Учеб. пособие.* Москва: Архитектура-С; 2005. 648 с.

7. Смолицкая Т.А. *Архитектура и градостроительство. Учеб.-метод. пос.* Москва: Архитектура-С; 2005. 256 с.

8. Фадеева Т.А., Анисимов Ю.В. *Функционально-планировочная структура приречных территорий городов Поволжья.* В: Сборник докладов Второй Национальной научной конференции «Актуальные проблемы строительной отрасли и образования — 2021». Москва; 2022. С. 608–616.

9. Маташова М.А. Методы формирования природно-экологического каркаса на приречных территориях крупного города (на примере г. Хабаровска). *Вестник гражданских инженеров.* 2010;3(24):13–16.

References

1. Baklazhenko EV. Klassifikatsiya i zonirovanie prirechnykh territorii malykh gorodov na primere Belgorodskoi oblasti [Classification and zoning of riverine territories of small towns on the example of the Belgorod region]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova*. 2020;8:61–68. (In Russ.) https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-8-61-68

2. Darsigov MD, Protopopova DA. *Mirovoi opyt razvitiya prirechnykh gorodov*. V: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii fakul'teta promyshlennogo i grazhdanskogo stroitel'stva «Stroitel'stvo i arkhitektura —

2022» [*World experience in the development of riverine cities*. In: “Materials of the International Scientific-Practical Conference of the Faculty of Industrial and Civil Engineering “Construction and architecture – 2022”]. Rostov-on-Don; 2022. P. 398–399. (In Russ.)

3. Kravchenko ES, Protopopova DA. *Aktual'nost' planirovochnogo razvitiya prostranstvennoi struktury prirechnykh gorodskikh territorii*. V: Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii fakul'teta promyshlennogo i grazhdanskogo stroitel'stva «Stroitel'stvo i arkhitektura — 2022» [*The relevance of the planning development of the spatial structure of riverine urban areas*. In: Materials of the International Scientific-Practical Conference of the Faculty of Industrial and Civil Engineering “Construction and architecture – 2022”]. Rostov-on-Don; 2022. P. 400–401. (In Russ.)

4. Sadkovskaya OE. Arkhitekturno-planirovochnaya organizatsiya landshaftov zaregulirovannykh rek malykh i srednikh gorodov yuga Rossii [Architectural and planning organization of landscapes of regulated rivers in small and medium-sized cities of southern Russia]. *Internet-vestnik VolgGASU – Internet Bulletin of VolgSACU*. 2010;1(10):3. (In Russ.)

5. Chernyavskaya EN. *Gradostroitel'stvo s osnovami arkhitektury. Sovremennyi ehtap : uchebnoe posobie dlya vuzov [Urban planning with the basics of architecture. Modern stage: textbook for universities]*. Moscow: Yurait Publ.; 2023. 75 p. (In Russ.)

6. KositskiI YV. Arkhitekturno-planirovochnoe razvitie gorodov: Ucheb. Posobie [Architectural and planning development of cities: textbook]. Moscow: Arkhitektura-S Publ.; 2005. 648 p. (In Russ.)

7. Smolitskaya TA. *Arkhitektura i gradostroitel'stvo. Ucheb.-metod. Pos.* [*Architecture and urban planning. Manual*] Moscow: Arkhitektura-S Publ.; 2005. 256 p. (In Russ.)

8. Fadeeva TA, Anisimov YV. *Funktsional'no-planirovochnaya struktura prirechnykh territorii gorodov Povolzh'ya*. V: Sbornik dokladov Vtoroi Natsional'noi nauchnoi konferentsii «Aktual'nye problemy stroitel'noi otrasli i obrazovaniya — 2021» [*Functional and planning structure of the riverine territories of the cities of the Volga region*. In: Collection of Reports of the Second National Scientific Conference “Actual problems of the construction industry and education – 2021"]. Moscow; 2022. P. 608–616. (In Russ.)

9. Matashova MA. Metody formirovaniya prirodno-ehkologicheskogo karkasa na prirechnykh territoriyakh krupnogo goroda (na primere g. Khabarovska) [Methods for the formation of a natural and ecological framework in the riverine areas of a large city (on the example of the city of Khabarovsk)]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov – Bulletin of Civil Engineers*. 2010;3(24):13–16. (In Russ.)

Об авторах:

Протопопова Дарья Александровна, доцент кафедры «Градостроительство и проектирование зданий» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук, ScopusID, ORCID, Darya.a@inbox.ru

Кравченко Елизавета Сергеевна, магистр кафедры «Градостроительство и проектирование зданий» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, lizakravchenko12@mail.ru

Дарсигов Микаил Джабраилович, магистр кафедры «Градостроительство и проектирование зданий» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), ORCID, dmikail@list.ru

Заявленный вклад соавторов:

Д.А. Протопопова — научное руководство, формирование основной концепции, цели и задачи исследования, подготовка текста, формирование выводов; Е.С. Кравченко — анализ результатов исследований, доработка текста, корректировка выводов; М.Д. Дарсигов — наукометрический анализ, разработка иллюстраций, оформление библиографического списка

Поступила в редакцию 15.03.2023.
Поступила после рецензирования 31.03.2023.
Принята к публикации 03.04.2023.

Конфликт интересов
Все авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

About the Authors:

Darya A Protopopova, associate professor of the Urban Planning and Design of Buildings Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Cand. Sc. (Engineering), ScopusID, ORCID, Darya.a@inbox.ru

Elizaveta S Kravchenko, master's student of the Urban Planning and Design of Buildings Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, lizakravchenko12@mail.ru

Mikhail D Darsigov, master's student of the Urban Planning and Design of Buildings Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), ORCID, dmikail@list.ru

Claimed contributorship:

DA Protopopova — scientific supervision, formulating the main concept, goals and objectives of the research, preparing the text, formulating the conclusions; ES Kravchenko: research results' analysis; revision of the text, correcting the conclusions; MD Darsigov — scientometric analysis, development of visuals, preparing the list of references.

Received 15.03.2023.
Revised 31.03.2023.
Accepted 03.04.2023.

Conflict of interest statement

The authors do not have any conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.